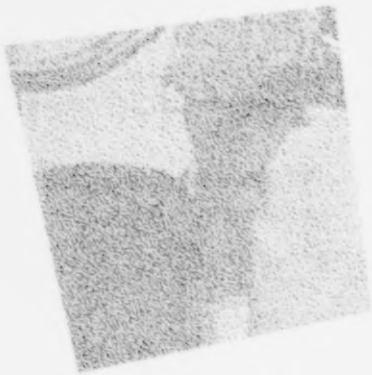
La substitution des solvants par le carbonate de propylène

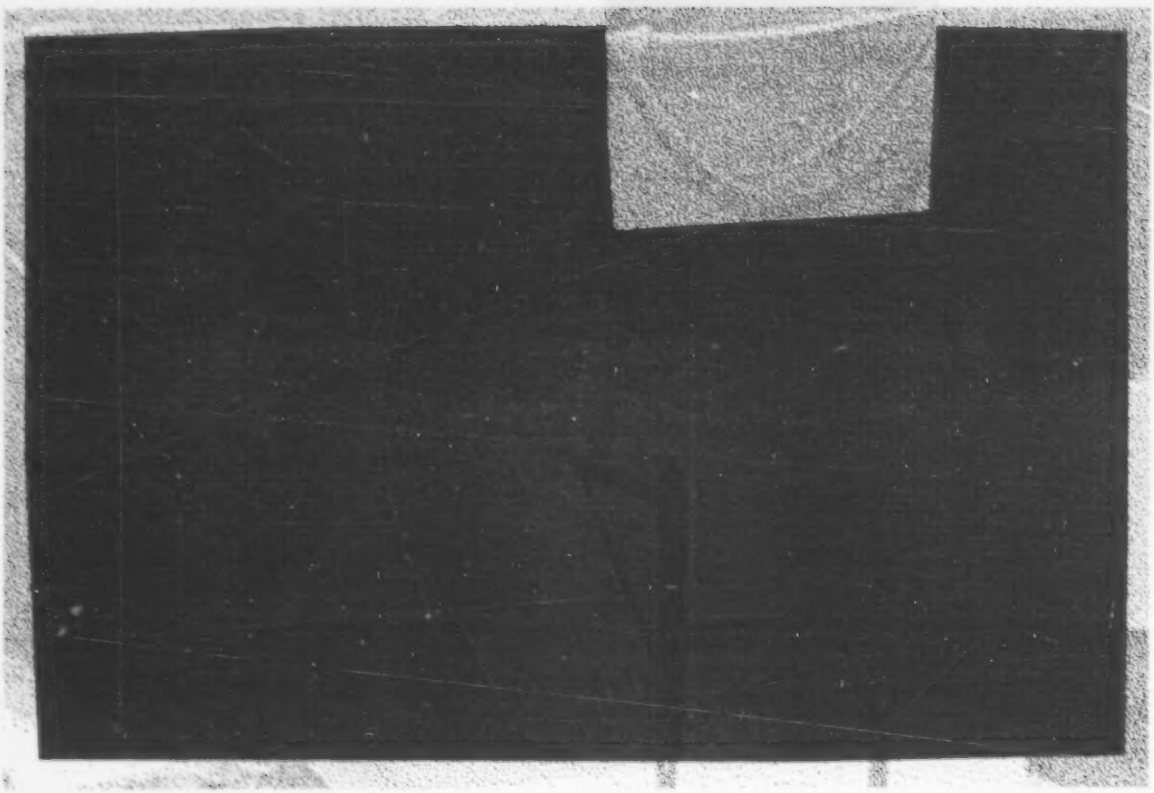


BILANS DE CONNAISSANCES

Denis Bégin
Charles Beaudry
Michel Gérin

B-070

RAPPORT



irsst

Université de Montréal

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES
travaillent pour vous !

MISSION

- Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.
- Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.
www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
Abonnement : 1-877-221-7046

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, juillet 2005

105-06439/

La substitution des solvants par le carbonate de propylène

BILANS DE CONNAISSANCES

Denis Bégin, Charles Beaudry et Michel Gérin

Université de Montréal, Faculté de médecine,
Département de santé environnementale et santé au travail

RAPPORT

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

Résumé

Le carbonate de propylène (n^0 CAS : 108-32-7) est un ester cyclique liquide, peu volatil, ni inflammable ni combustible, soluble dans l'eau et les solvants organiques. Il est produit industriellement par réaction entre le dioxyde de carbone et l'oxyde de propylène. Il est utilisé dans la fabrication ou la formulation de multiples produits : batteries, teintures, encres, cosmétiques, résines, peintures, huiles et graisses, gaz industriels, pesticides et médicaments. Le carbonate de propylène trouve un usage accru, souvent sous forme de mélange avec d'autres solvants, dans le décapage de pièces peintes, le décapage dans l'industrie des semi-conducteurs, le nettoyage des outils utilisés pour l'application de peinture et des outils utilisés dans les usines de plastiques de polyester renforcés à la fibre de verre. Il n'y a pas de données disponibles sur les niveaux d'exposition professionnelle. Le passage percutané de cette substance serait négligeable. Les études aiguës, subchroniques et chroniques chez l'animal indiquent une très faible toxicité. Un gonflement du tissu périoculaire est rapporté chez le rat exposé à forte concentration. Le produit liquide est un irritant modéré pour la peau et les yeux. Aucun organisme ne propose de valeur limite d'exposition professionnelle (VLE) pour ce produit. Les auteurs de la présente monographie proposent une VLE de 10 mg/m^3 d'aérosol pour éviter l'irritation sensorielle. Cette recommandation devrait faire l'objet d'une validation en milieu de travail. Aisément dégradable, peu toxique pour les organismes aquatiques, avec un potentiel de formation d'ozone troposphérique faible et un potentiel de déplétion de la couche d'ozone nul, le carbonate de propylène peut être jugé comme ayant des effets peu prononcés sur l'environnement. Au total cette substance semble constituer un produit de remplacement acceptable pour plusieurs solvants toxiques ou inflammables.

Table des matières

Résumé 1
Table des matières 2
Liste des sigles et acronymes 4
1.0 Introduction 6
2.0 Méthodologie 6
3.0 Propriétés physico-chimiques et de santé et sécurité du travail 6
4.0 Production et utilisation 7
4.1 Procédé de fabrication, impuretés et adjuvants 7
4.2 Fabricants 8
4.3 Utilisations 8
4.4 Aspects techniques de la mise en œuvre 9
4.4.1 Décapage de pièces peintes 9
4.4.2 Décapage dans l'industrie des semi-conducteurs 10
4.4.3 Nettoyage des outils utilisés pour l'application de peinture 10
4.4.4 Nettoyage d'outils dans les usines de plastiques renforcés 11
4.5 Coûts 12
5.0 Exposition professionnelle 12
6.0 Toxicologie 12
6.1 Doses létales 13
6.2 Toxicocinétique 14
6.3 Biotransformation 14
6.4 Effets locaux 14
6.4.1 Peau 14
6.4.2 Yeux 15
6.5 Études subchroniques 15
6.6 Cancérogénèse 16
6.7 Mutagenèse 16
6.8 Toxicité sur le développement 16
7.0 Environnement 16
7.1 Devenir environnemental 16
7.2 Effets environnementaux 17
8.0 Réglementation et recommandations 18
8.1 Milieu de travail 18
8.2 Environnement 19
8.2.1 Canada 19
8.2.1.1 Règlement sur la persistance et la bioaccumulation 19
8.2.1.2 Liste intérieure des substances (LIS) 19
8.2.1.3 Règlement sur le transport des marchandises dangereuses (TMD) 20
8.2.1.4 Liste des substances d'intérêt prioritaire 20
8.2.2 Québec 20
8.2.2.1 Règlement sur la qualité de l'atmosphère 20
8.2.2.2 Règlement sur les matières dangereuses 20

8.2.3 Ville de Montréal 20
8.2.3.1 Règlement relatif à l'assainissement de l'air (Règlement 90) 21
8.2.3.2 Règlement relatif aux rejets des eaux usées dans les réseaux d'égout et les cours d'eau (Règlement 87) 21
9.0 Prévention 21
9.1 Premiers secours 21
9.1.1 Projection cutanée 21
9.1.2 Projection oculaire 21
9.1.3 Inhalation 21
9.1.4 Ingestion 22
9.2 Fuites accidentelles 21
9.3 Manipulation et stockage 22
9.4 Équipement individuel de protection 22
9.5 Élimination des déchets 23
9.6 Recyclage 23
9.7 Échantillonnage et analyse 24
9.8 Surveillance biologique de l'exposition 24
9.9 Surveillance médicale 24
10.0 Discussion 24
10.1 Aspects techniques 24
10.2 Hygiène et toxicologie industrielles 25
10.3 Environnement 26
11.0 Axes potentiels de recherche 27
12.0 Conclusion 27
13.0 Bibliographie 27
Annexe I 35
Annexe II 38

Liste des sigles et acronymes

AB : Alcool benzylique
ASTM : American Society for Testing and Materials
CARC : Chemical Agent Resistant Coating
CAS : Chemical Abstracts Service
CCHST : Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail
CE_{50} : Concentration effective cinquante
CIR : Cosmetic Ingredient Review
CIRC : Centre international de recherche sur le cancer
CL_{50} : Concentration létale cinquante
CMM : Communauté métropolitaine de Montréal
CO_2 : Dioxyde de carbone
COV : Composé organique volatil
CP : Carbonate de propylène
CRAM : Caisse Régionale de l'Assurance Maladie (France)
CSST : Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec
CTFA : Cosmetics, Toiletry, and Fragrances Association
CUM : Communauté urbaine de Montréal
DBE : Dibasic esters (esters d'acides dicarboxyliques)
DBO_5 : Demande biochimique en oxygène en cinq jours
DIN : Deutsches Institut für Nurmung
DL_{50} : Dose létale cinquante
DMSO : Diméthylsulfoxyde
EINECS : European Inventory of New and Existing Chemical Substances
EPR : Ethylene-propylene rubber
FS: Fiche signalétique (Fiche de données de sécurité, MSDS)
H_2S : Sulfure d'hydrogène
HPLC : High-Performance Liquid Chromatography
HSDB : Hazardous Substances Databank
HSE : Health and Safety Executive (UK)
HSELINE : Health and Safety On Line
INRS : Institut national de recherche et de sécurité (France)
IPCS : International Programme on Chemical Safety
IRSST : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail
ISST : Information en santé et sécurité du travail
IUCLID: International Uniform ChemicaL Information Database
IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry
K_{oc} : Coefficient de partage carbone organique/eau
LC_{50} : Concentration létale cinquante
LCPE : Loi canadienne sur la protection de l'environnement
LIS : Liste intérieure des substances
LOAEL : Lowest Observed Adverse Effect Level
NCMS : National Center for Manufacturing Sciences

Liste des sigles et acronymes

MEK : Méthyléthylcétone
MDDEP: Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
NFPA : National Fire Protection Association
NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Heatlh (USA)
NIOSHTIC: National Institute for Occupational Safety and Health Technical Information Center
NMP : N-méthyl-2-pyrrolidone
NOAEL : No Observed Adverse Effect Level
NOES : National Occupational Exposure Survey
OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques
OSHA : Occupational Safety and Health Administration (USA)
ppm : Partie par million
RSST : Règlement sur la santé et la sécurité du travail
RTECS : Registry of Toxic Effects of Chemical Substances
SGH : Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques
SIMDUT : Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail
SPIN : Substances in Preparations In Nordic countries
SRC : Syracuse Research Corporation
$t_{½}$: temps de demi-vie
TMD : Règlement sur le transport des marchandises dangereuses
USEPA : United States Environmental Protection Agency
USNLM : United States National Library of Medicine
VEA: Valeur d'exposition admissible

1.0 Introduction

Environ 200 000 travailleurs québécois sont exposés régulièrement aux solvants organiques (1). Les dangers pour les travailleurs, le public et l'environnement qui y sont associés amènent les entreprises à travailler au remplacement de nombre d'entre eux. Un bilan de connaissance a été produit en 2002 pour aider les intervenants en santé, sécurité et environnement à trouver des produits pour remplacer les solvants classiques ou à trouver des procédés de rechange (2). De « nouveaux » solvants ont fait leur apparition dans les milieux de travail. Mis à part les fiches signalétiques (FS) fournies par les fabricants, les hygiénistes et médecins du travail et autres spécialistes de la santé, de la sécurité et de l'environnement ne possèdent que des données fragmentaires concernant ces substances. De plus, elles sont parfois présentées comme des substituts idéaux à tout point de vue. Des monographies ont été publiées en 1999 sur trois « nouveaux » solvants, le d-limonène, les esters d'acides dicarboxyliques (DBE) et la N-méthyl-2-pyrrolidone (NMP) (3, 4, 5), en 2002 sur deux autres solvants, le diméthylsulfoxyde et le 1-bromopropane et sur les nettoyants aqueux (6, 7, 8) et récemment sur l'alcool benzylique et le lactate d'éthyle (9, 10). La présente monographie traite du carbonate de propylène (CP, n^{0} CAS : 108-32-7). Elle présente de façon synthétique et critique les connaissances sur les aspects santé et sécurité du travail, environnementaux et techniques de ce solvant, de manière à guider les spécialistes de l'hygiène du travail et de l'environnement dans leurs choix et décisions par rapport à cette substance. Ce bilan de connaissance permet également aux intervenants de la santé publique, particulièrement ceux de la santé au travail, de juger de sa toxicité.

2.0 Méthodologie

Une recherche exhaustive dans les bases de données bibliographiques suivantes a permis d'identifier la plupart des articles scientifiques de première main et certains rapports de recherche de la littérature dite « grise »[1] : Medline, Toxline, Current Contents, SciFinder Scholar, NIOSHTIC, HSELINE, Ingenta, site W3 du United States Environmental Protection Agency (USEPA), ISST. Les banques de données factuelles suivantes ont servi à recueillir certaines données physico-chimiques et autres paramètres : ChemInfo, SPIN, RTECS, HSDB, SRC. L'utilisation d'Internet a permis notamment d'identifier des fournisseurs de CP.

3.0 Propriétés physico-chimiques et de santé et sécurité du travail

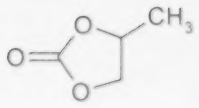
Le CP est un liquide incolore ou légèrement jaunâtre selon le niveau de pureté. Il est très peu volatil et presque inodore. Chimiquement le CP est un ester cyclique de l'acide carbonique. Il fait partie des carbonates d'alcoylène[2] au même titre que le carbonate d'éthylène et le carbonate de butylène.

---

[1] Document produit à l'intention d'un public restreint ou spécialisé, en dehors des circuits commerciaux de l'édition et de la diffusion.

[2] Radical monovalent correspondant aux carbures éthyléniques.

La structure moléculaire développée du CP ($C_4H_6O_3$) est la suivante :



Le CP est soluble dans l'eau et s'y hydrolyse lentement. Il est miscible avec de nombreux solvants organiques. Produit stable à la température ambiante, il n'est ni inflammable ni combustible selon le SIMDUT[3] mais il s'enflamme en présence d'une source d'ignition s'il est chauffé à plus de 130 °C (11, 12, 13).

L'annexe I présente les principales propriétés physico-chimiques et de santé et sécurité du travail du CP. Il est à noter que les données présentées portent sur une large gamme de propriétés, y compris divers paramètres reliés aux aspects techniques spécialisés de la mise en œuvre des produits (p. ex. tension superficielle, viscosité, paramètres de solubilité de Hansen), à leur devenir environnemental (p. ex. coefficient de partage octanol-eau) ou aux aspects santé-sécurité (p. ex. tension de vapeur, inflammabilité). L'on note parfois des disparités entre diverses sources pour certaines propriétés (p. ex. point d'éclair) qui pourraient être explicables en partie par des différences dans les méthodes utilisées pour les déterminer.

4.0 Production et utilisation

4.1 Procédé de fabrication, impuretés et adjuvants

La réaction entre le dioxyde de carbone (CO_2) et l'oxyde de propylène, à haute température (150 à 175 °C), sous pression et en présence d'un catalyseur (sel d'ammonium quaternaire) est à l'origine du procédé industriel de fabrication du CP (14, 15). Ce procédé est bien celui qu'utilise les plus gros fabricants de CP tel que le confirme leur fiche technique (11, 12, 13). Le CP produit industriellement est vendu en niveaux de pureté de 99,0 % ou 99,7 – 99,8 %. Les impuretés principales dans le produit industriel sont le propylène glycol et l'eau. En outre le CP contient typiquement de 5 à 35 ppm d'oxyde de propylène qui peut s'accumuler dans l'espace vide des contenants et être libéré dans l'environnement (11). Un nouveau procédé de fabrication utilisant de l'oxyde de propylène et du CO_2 dans des conditions supercritiques[4] en l'absence de catalyseurs serait à l'étude (16). Le rendement de la réaction serait près de 100 % en moins de six minutes. Il existe plusieurs compagnies produisant ou distribuant du carbonate de propylène en petite quantité pour des utilisations précises telles les laboratoires de chimie. Cependant les niveaux de pureté disponibles ne semblent pas différer de ceux des fabricants industriels. Le catalogue en ligne de Sigma-Aldrich[5], par exemple, offre son plus haut niveau de pureté à 99,7 % de qualité HPLC[6] où la différence majeure pourrait être la concentration d'eau résiduelle. Par contre il existe[7] aussi du CP pur à 99.98 %, fabriqué pour les batteries au lithium, où les impuretés principales sont le propylène glycol, le propane-1,3-diol et l'eau.

---

[3] Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail

[4] Un fluide supercritique est un fluide dont la température et la pression sont maintenues simultanément au-delà de leurs valeurs critiques soit 31,1 °C et 7375 kPa (72,8 atmosphères) dans le cas du CO_2.

[5] http://www.sigmaaldrich.com/Area_of_Interest/The_Americas/Canada/Canada_French.html consulté 2004-08-08

[6] High-performance Liquid Chromatography = chromatographie liquide à haute performance

[7] http://www.ferro.com/ consulté le 2004-08-19

4.2 Fabricants

Trois multinationales se partagent la fabrication industrielle mondiale du carbonate de propylène, Huntsman (Performance Chemicals), BASF (Chemical Intermediates), et la Lyondell Chemical Company[8]. Aucun fabricant canadien n'a été identifié. L'annexe II fournit les coordonnées de ces fabricants. Bien que ce produit soit sur le marché depuis plus de 50 ans (17), la capacité mondiale actuelle de production de plus de 50 000 tonnes métriques n'a été atteinte que dans la dernière décennie (11). On estimait la production aux États-Unis à 37 000 tonnes métriques en 1989 (18). Plusieurs autres fabricants ou distributeurs sont mentionnés dans certaines ressources en lignes (19) mais ceux-ci seraient essentiellement des purificateurs, des distributeurs ou des fabricants visant un marché très restreint[9].

4.3 Utilisations

Le CP est utilisé à de multiples fins (11, 13, 14, 15) mais rarement seul. On le retrouve dans des formulations contenant de la N-méthyl-2-pyrrolidone (NMP), des esters d'acides dicarboxyliques (DBE), du diméthylsulfoxyde (DMSO), de l'alcool benzylique (AB), des éthers de glycol et d'autres carbonates comme le carbonate d'éthylène et de butylène.

Il est utilisé comme solvant d'électrolyte dans les batteries au lithium (20, 21, 22, 23) et comme composant de produits chromogènes (24, 25, 26), comme solvant sécuritaire avec certaines teintures dans l'industrie textile (27) et dans certains lasers à colorants[10], dans la production de polyacrylonitrile, dans plusieurs activités de laboratoire de chimie (28, 29, 30), avec certaines encres de sérigraphie, dans le revêtement de fil de cuivre (31). Bien que son utilisation dans les cosmétiques ait diminué de 40 % entre 1981 et 2002 on le retrouve encore dans de nombreux produits comme le mascara et le rouge à lèvre (16). Il y agit comme agent de gélification de la bentonite (32). Il sert de diluant réactif dans la fabrication de polyuréthanes (33, 34) et de résines époxy et d'accélérateur de durcissement de résines phénoliques utilisées dans les panneaux agglomérés (35, 36, 37, 38) et dans le moulage – noyautage des sables de fonderie. Il sert aussi d'additif dans plusieurs huiles et graisses utilisées comme lubrifiants (39). Il est utilisé comme produit de nettoyage des gaz de synthèse comme l'ammoniac (40, 41, 42) où il permet d'éliminer des impuretés comme le CO_2 et le sulfure d'hydrogène (H_2S). On s'en sert comme intermédiaire dans la synthèse d'autres produits chimiques. Depuis 2003 il peut être utilisé aux États-Unis comme composant inerte dans certains pesticides (43). Il sert également d'excipient dans certains médicaments (16). Cependant les deux utilisations les plus intéressantes pour cette monographie sont sans aucun doute celle de décapant industriel (18, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52) et de nettoyant industriel (53, 54, 55, 56).

La base de donnée *Substances in Preparations in Nordic Countries*[11] (SPIN) indique que les pays scandinaves consomment plus de 50 % de leur CP dans les peintures et solvants et environ 30 % dans certains « régulateurs de procédé », possiblement comme produit de nettoyage dans la

---

[8] P. Cruse, BASF, Responsable commercial du cycle de vie, communication personnelle, 2004-08-11

[9] P. Cruse, BASF, Responsable commercial du cycle de vie, communication personnelle, 2004-08-11

[10] http://www.lbl.gov/ehs/chsp/html/laser_dyes.shtml consulté le 2004-08-16. Laser à colorant = « laser qui utilise des composés ayant une grande absorption dans la partie visible du spectre et possédant plusieurs doubles liaisons conjugées » (Grand dictionnaire terminologique).

[11] http://www.spin2000.net/spin.html consulté le 2004-08-24

fabrication de gaz. Cependant cette même base de données indique qu'en 2002 le niveau d'utilisation du CP demeurait faible par rapport à d'autres solvants comme le toluène ou l'acétone. Son utilisation se situait plutôt au niveau d'autres solvants comme la NMP et le dichlorométhane. Selon une base de données élaborée par la Caisse Régionale de l'Assurance Maladie (CRAM) d'Alsace-Moselle[12] en France, seulement 1 % des 383 entreprises recensées, dans une quarantaine de secteurs d'activité, utilisaient du CP en mai 2004 : deux entreprises dans l'industrie du caoutchouc et des plastiques, une dans celui de la fabrication de machines et appareils électriques et une dans celui du travail des métaux.

4.4 Aspects techniques de la mise en œuvre

Les aspects techniques de la mise en œuvre du CP dans divers secteurs industriels sont traités dans cette section. L'essentiel de cette discussion concerne les opérations industrielles de décapage et de nettoyage puisqu'elles représentent le risque d'exposition le plus significatif au CP. Seront ainsi examinés le décapage des pièces peintes, le décapage dans l'industrie des semi-conducteurs, le nettoyage des outils utilisés pour la peinture et pour la fabrication de plastiques renforcés.

4.4.1 Décapage de pièces peintes

L'information concernant le décapage de pièces peintes provient d'une série d'études menées pour le compte du USEPA dans la même base militaire étasunienne sur une période de quelques années (45, 48, 57). Le USEPA encourage, par le biais de divers programmes, le développement de technologies moins polluantes. Dans le cadre d'un de ces programmes, visant les édifices fédéraux, le USEPA a analysé une opération de décapage de radôme (pièce fabriquée en fibre de verre et résine époxy ou polyester servant à protéger les radars des avions militaires) utilisant la méthyléthylcétone (MEK) comme décapant. Celui-ci était pulvérisé, non chauffé, sur les pièces dans une cabine ventilée. Il était ensuite récupéré dans un réservoir avec la peinture décapée, séparé de celle-ci et ramené au pistolet de pulvérisation par une pompe. La pulvérisation se poursuivait de 1,5 à 3 heures. Les pièces étaient couvertes de trois couches de peinture. La couche de fond était une peinture époxy, la couche intermédiaire une peinture polyuréthane formulée pour résister à l'érosion par la pluie et la couche de finition était une peinture polyuréthane antistatique. Les deux couches externes étaient rayées pour que le solvant pénètre jusqu'à la couche de fond et la fasse gonfler puis s'écailler. Les endroits coriaces étaient ensuite grattés à la main.

Un premier objectif était de réduire les émissions atmosphériques de MEK. L'opération en générait quelques 20 à 25 tonnes métriques par an. La tension de vapeur du MEK est très élevée, 10,3 kPa à 20 °C, comparativement à celle du CP qui est de 0,0040 kPa à 20 °C. Un autre objectif était de réduire les risques d'incendie associés au MEK dont le point d'éclair est -9 °C comparativement à celui du CP qui est supérieur à 100 °C. Aucun des mélanges de substitution testés ne contenait uniquement du CP. Tous étaient à base de NMP avec d'autres solvants. Après une ronde d'élimination basée sur la vitesse de décapage et l'absence de corrosion du substrat, le décapant retenu pour le test final contenait 25 % de CP, 50 % de NMP et 25 % de DBE. Ce mélange avait une efficacité équivalente à celle du MEK quant au décapage hormis une légère

[12] http://www.cram-alsace-moselle.fr/Prevent/chimie/index.htm consulté le 2004-08-24

augmentation du grattage requis. Il n'altérait pas de manière significative les propriétés de la surface telles que la dureté ni l'adhérence de la nouvelle couche de peinture.

D'autres formulations ont aussi été essayées. Elles n'enlevaient que les deux dernières couches en laissant la couche de fond intacte, ce qui pourrait écarter les craintes d'altération du support. Ces formulations ne contenaient pas de NMP. En plus de 35 à 55 % de CP, elles étaient composées de DBE et de butyrolactone, de glycols ou d'éthers de glycol. D'autres études de plus grande envergure devaient être planifiées pour réaliser cette substitution.

Le coût au litre pressenti par le fournisseur du mélange expérimental PC/NMP/DBE, environ deux fois celui du MEK, était largement compensé par un volume de solvant utilisé quatre fois moindre que celui du MEK. En prenant en compte tous les coûts associés (matière première, utilisation, gestion des déchets, salaires), une réduction des dépenses annuelles de 30 000 $ US pouvait être réalisée dans l'opération de décapage (80 000 $ pour le MEK versus 50 000 $ pour le nouveau mélange). Dans le calcul précédent, les solvants usés étaient incinérés dans les deux cas. Une distillation du mélange est théoriquement possible mais aucune indication n'a été fournie par cette étude quant à sa faisabilité économique.

La société Huntsman propose un mélange de carbonates d'alcoylène, incluant le CP, activé avec du peroxyde d'hydrogène, comme matière première pour formuler des décapants à peinture (58, 59). Huntsman prétend que les décapants ainsi formulés sont aussi performants que la majorité de neuf décapants commerciaux testés dans ses laboratoires. Les essais rapportés concernent le décapage de joints d'étanchéité en polysulfure utilisés dans l'industrie aéronautique (11).

4.4.2 Décapage dans l'industrie des semi-conducteurs

Suite aux besoins croissants de miniaturisation, l'industrie des semi-conducteurs fait face à divers défis technologiques. Dans le processus de fabrication, environ 20 % des étapes sont des opérations de nettoyage de surface. Dans l'une de ces opérations, la résine photosensible non réagie sur les couches d'un semi-conducteur doit être décapée. Le décapant le plus répandu est une solution aqueuse d'acide sulfurique et de peroxyde d'hydrogène. Or, plus la pièce devient petite, plus la tension superficielle de l'eau devient un handicap au décapage. Une solution de plus en plus répandue est l'utilisation de fluides supercritiques comme le CO_2 dont la tension superficielle est presque nulle. Comme le CO_2 supercritique n'a pas une capacité de décapage suffisante, il est mélangé avec du CP. Ce mélange, en plus d'être efficace, réduit les coûts d'opération, diminue la quantité de matières résiduelles à traiter et est moins dangereux pour les travailleurs que la solution d'acide et de peroxyde bien qu'il ne soit pas sans risque puisqu'on utilise un gaz sous pression (51). Avec l'avènement des nanotechnologies[13] on prévoit une conversion progressive de tous les nettoyants aqueux vers les fluides supercritiques dans cette industrie.

4.4.3 Nettoyage des outils utilisés pour l'application de peinture

Le corps des fusiliers marins de l'armée américaine peint ses véhicules aux couleurs verte et sable de camouflage dans des ateliers spécialisés. Après une couche de fond à base de résine

[13] http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/

époxy, on applique les peintures de finition à base de polyuréthane, dites peintures CARC[14]. L'équipement de pulvérisation de la peinture, soit les pompes, tuyaux et pistolets doit ensuite être nettoyé avant d'être réutilisé (60). Le MEK était le solvant utilisé à cette fin. Dans la foulée des mêmes programmes du USEPA présentés en 4.4.1, on a cherché à remplacer le MEK pour cet usage. Après un test préliminaire d'efficacité de 65 solvants et mélanges de solvants, cinq solvants ont été retenus pour étudier leur compatibilité avec les matériaux pouvant entrer en contact avec eux. Les cinq solvants n'altéraient ni les métaux ni les matières plastiques utilisées. Après un test d'efficacité par simulation en laboratoire, le solvant retenu pour un projet pilote était un mélange de 40 % de CP et 60 % d'AB.

On nettoie les outils en faisant circuler du solvant dans le système de pulvérisation et en le récupérant dans un seau. Au moment où le solvant sortant du pistolet devient propre, on poursuit la purge pendant environ trois minutes. Le nettoyage est effectué au moins deux fois par jour, entre chaque changement de couleur et à la fin de chaque quart de travail. Le solvant usé est ensuite traité comme matière résiduelle dangereuse. L'analyse d'efficacité du mélange CP/AB a démontré qu'il était équivalent au MEK pour le nettoyage des outils souillés par les peintures de finition et meilleur que le MEK pour ceux contaminés par la peinture de fond. L'analyse économique de la substitution révèle que les coûts d'utilisation du mélange CP/AB sont à peine trois pour cent supérieurs à ceux du MEK. La récupération du mélange usé par le fournisseur pourrait cependant réduire les coûts en deçà de ceux du MEK. En outre le filtrage et la réutilisation du mélange réduiraient davantage les coûts (44).

4.4.4 Nettoyage d'outils dans les usines de plastiques renforcés

L'industrie des plastiques renforcés fabrique une large gamme de produits, bateaux, réservoirs, pièces de carrosserie de véhicules, glissades d'eau, etc. La très grande majorité de ces produits sont à base de résines de polyester renforcées de fibre de verre et ils sont fabriqués à l'aide d'outils divers comme des pistolets de pulvérisation, des rouleaux de débullage, des guides d'enroulement filamentaire. Cette industrie utilise de très grandes quantités d'acétone annuellement pour le nettoyage des outils souillés au contact de la résine de polyester. Le service de l'environnement de la Floride ainsi que Hillis et Davis (54, 56) proposent le remplacement de l'acétone par le CP comme nettoyant d'outils dans cette industrie. Une usine de fabrication de bateaux de fibre de verre en Floride utilisait plus de 60 000 litres d'acétone par mois même en recyclant ce solvant pour en réduire la consommation. La grande majorité des pertes était liée à l'évaporation. En utilisant du CP comme solvant de nettoyage, l'usine consomme maintenant dix fois moins de solvant. Les utilisateurs sont très satisfaits du CP car, en plus de bien nettoyer, il garde la résine en solution, ce qui empêche les outils de devenir gommés lorsqu'ils sont laissés dans les bacs de trempage pour plusieurs heures. De plus cette usine a implanté un système fonctionnel de recyclage du CP (55). Avec le remplacement de l'acétone, on diminue énormément le risque d'incendie dans cette industrie.

[14] Chemical Agent Resistant Coating = Revêtement résistant aux agents chimiques

4.5 Coûts

Chez Univar (Lachine, QC)[15], lorsque vendu en fût de 210 litres, le prix du CP est de 3,25 $ CA/kg. À titre de comparaison, le MEK coûte 2,25 $ CA/kg alors que l'acétone se vend 2,05 $ CA/kg. La société Produits chimiques CCC[16] (Lachine, QC) offre son CP à 3,70 $ CA/kg pour un fût de 249 kg.

5.0 Exposition professionnelle

Aucune donnée d'exposition professionnelle au CP n'a été identifiée dans la littérature. Le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) a mené de 1981 à 1983 une vaste enquête sur les expositions chimiques (NOES[17], National Occupational Exposure Survey) dans 4 490 lieux de travail étasuniens (61). Une matrice emploi-exposition a été élaborée à partir de cette étude. Le nombre de travailleurs potentiellement exposés au CP a été extrait de cette matrice. Il y avait ainsi un total 98 025 travailleurs potentiellement exposés à cette substance. Les secteurs d'activité économique exposant le plus grand nombre de travailleurs étaient les suivants par ordre décroissant d'importance : Entrepreneurs spécialisés (29 136), services publics (11 280), services de santé (10 186), fabrication de produits chimiques (9 364), fabrication d'équipement de transport (6 545). Les professions exposant le plus grand nombre d'employés étaient les suivantes par ordre décroissant d'importance : plombiers et tuyauteurs (9 012), mécaniciens de chauffage et climatisation (8 809), infirmières (8 141), électriciens (7 047), concierges et nettoyeurs (6 958).

Même s'il ne s'agit pas d'une exposition professionnelle, nous avons jugé intéressant de rapporter l'estimation du USEPA de l'exposition d'une personne utilisant, dans le pire scénario, un nettoyant domestique contenant du CP. Les éléments suivants constituent une partie du scénario d'utilisation : fréquence (300 événements par an), masse de CP utilisée par événement (61,5 g), durée d'un événement (0,7 h). Le USEPA estime à 6 mg/kg/j la dose reçue par un nettoyeur fictif, principalement par voie respiratoire (43, 62).

6.0 Toxicologie

Cette section recense les quelques études expérimentales menées chez l'animal et en clinique sur des volontaires. L'ensemble de ces études se résume essentiellement à deux sources.

La première source est une revue de littérature réalisée en 1987 par le Cosmetic Ingredient Review (CIR) Panel[18] pour la Cosmetics, Toiletry & Fragance Association[19] (CTFA) aux États-Unis (32) et sa mise à jour récente (16).

La deuxième source est une série d'études menées principalement chez l'animal, commanditées majoritairement par la société Huntsman (62). Cette compagnie existait, à l'époque de ces études,

---

[15] S. Tremblay, Univar Canada, communication personnelle, 2004-09-02
[16] Jean Martel, Produits chimiques CCC, communication personnelle, 2004-10-21
[17] http://www.cdc.gov/noes/
[18] Comité indépendant d'évaluation des ingrédients pour cosmétiques http://www.cir-safety.org/
[19] Association pour les cosmétiques et produits de parfumerie http://www.ctfa.org/

sous le nom de la Texaco Chemical Company et plus anciennement de la Jefferson Chemical Company. Pour la plupart ces études sont non publiées mais des résumés détaillés sont disponibles en vertu de la loi d'accès à l'information aux États-Unis[20]. Les données de ces études ont été reprises dans les revues de littérature les plus souvent citées concernant le CP (15, 32, 63) et forment l'essentiel des documents évalués par le USEPA pour accorder à la société Huntsman l'autorisation d'utiliser le CP comme substance inerte dans la formulation de pesticides (43, 64, 65, 66). Ces mêmes études ont été utilisées pour la documentation du programme du USEPA concernant les substances chimiques produites en grande quantité (67). Certaines de ces études ont été publiées dans la littérature scientifique (68, 69).

6.1 Doses létales

Le tableau 1 présente une douzaine de doses létales cinquante (DL_{50}) du CP chez l'animal.

Tableau 1
Doses létales cinquante du CP chez le lapin, le rat et la souris

Espèce	Voie d'administration	DL_{50}*	Référence
Rat	Orale	> 5 g/kg	(62)
Rat	Orale	29,1 g/kg	(70)
Rat	Orale	32,1 g/kg	(71)
Rat	Orale	33,3 g/kg	(71)
Souris	Orale	20,7 g/kg	(32)
Lapin	Cutanée	> 2 g/kg	(62)
Lapin	Cutanée	> 3 g/kg	(62)
Rat	Sous-cutanée	11,1 ml/kg	(32)
Souris	Sous-cutanée	15,8 ml/kg	(32)
Souris	Intrapéritonéale	2,14 g/kg	(71)
Souris	Intrapéritonéale	7,61 g/kg	(71)

* Dose létale cinquante

La société Huntsman a fourni au USEPA la donnée suivante pour la concentration létale cinquante (CL_{50}) du CP chez le rat, le chien et le cobaye : > 3 000 mg/L (3 kg/m^3) (64).

La catégorie la moins toxique pour la toxicité aiguë dans le système harmonisé de classification intégrée des produits chimiques de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) est la catégorie 5 (72). Il s'agit des substances dont la DL_{50} se situe entre 2 et 5 g/kg par voie orale. Le CP est donc considéré non toxique dans ce système de même que dans le Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH) des Nations unies qui possède les mêmes catégories que celui de l'OCDE (73). On peut donc affirmer que le CP est relativement atoxique en exposition aiguë chez l'animal.

[20] http://www.epa.gov/foia/

6.2 Toxicocinétique

Aucune information n'a été trouvée concernant la distribution et l'élimination du CP dans l'organisme. Trois revues récentes de la littérature confirment l'absence de ce type d'information (15, 16, 63). Cependant Ursin et coll. (69) ont évalué l'absorption cutanée de différents solvants par l'établissement de constantes de perméabilité en g/m^2h en utilisant la peau humaine récupérée à la suite d'opérations de chirurgie plastique du sein. La valeur de cette constante pour le CP est de 0,7 ± 0,4 alors qu'elle est de 14,8 ± 0,1 pour l'eau, de 53 ± 29 pour le MEK et de 171 ± 51 pour la NMP.

6.3 Biotransformation

Yang et coll. ont isolé une enzyme hépatique chez le rat qui catalyse spécifiquement l'hydrolyse des carbonates organiques cycliques incluant le CP. Les produits de l'hydrolyse du CP seraient le propylène glycol (n^0 CAS : 57-55-6) accompagné de dioxyde de carbone (CO_2) (74). Le propylène glycol, une substance utilisée couramment comme excipient, est métabolisé dans le foie en acide lactique par l'alcool déshydrogénase puis transformé successivement en acide pyruvique, CO_2 et eau (75).

Dans une étude du métabolisme d'un médicament contre les ulcères ayant le CP comme excipient, un des groupes témoin de rats était exposé uniquement à une dose par voie orale de 5 ml/kg de CP sur une période de 14 jours. Les auteurs en viennent à la conclusion que cette dose de CP avait peu d'effet inductif ou inhibiteur sur les systèmes enzymatiques métabolisant le médicament (16).

6.4 Effets locaux

6.4.1 Peau

Dix-sept études cliniques de toxicité cutanée sont résumées dans le rapport du CIR préparé en 1987 pour la CTFA (32). La plupart de ces études ne sont pas publiées. L'exposition répétée pendant trois jours au CP pur a engendré une réaction modérée d'irritation de la peau chez cinq volontaires dont la peau avait été scarifiée. D'autres essais sur volontaires à des concentrations de 5 et 10 % dans l'eau n'ont provoqué aucune réaction d'irritation ou de sensibilisation de la peau. Une concentration de 20 % de CP dans l'éthanol a entraîné des réactions minimales à modérées d'irritation. Aucune réaction phototoxique ni de photosensibilisation n'a été rapportée lors de plusieurs essais de cosmétiques contenant moins de 20 % de CP. Les auteurs d'une étude ont cependant rapporté un cas possible de photosensibilisation chez un des vingt-cinq volontaires. Le CIR conclut que le CP peut être utilisé de façon sécuritaire dans les cosmétiques aux concentrations généralement utilisées, c'est-à-dire moins de cinq pour cent (32).

Le USEPA a endossé les conclusions d'une étude non publiée de 1972 sur des volontaires indiquant que des solutions aqueuses de CP de 5 et 10 % ne sont pas sensibilisantes chez humain (62). Dans la même revue, le USEPA accorde également de la crédibilité à l'une des études commanditées par Huntsman (62). Dans celle-ci, selon la méthode de Draize, il y avait une légère irritation après une exposition cutanée au CP non dilué. Cette information est confirmée par un

grand nombre d'études réalisées avec des cosmétiques contenant du CP en une seule ou plusieurs applications (32). Dans une étude visant à évaluer l'irritation possible de certains excipients utilisés pour l'administration parentérale de médicaments, le CP a dû être éliminé à cause des effets irritants sur le tissu musculaire du poulet (76).

6.4.2 Yeux

Dans une étude menée selon la méthodologie traditionnelle de Draize (77), l'irritation des yeux des lapins était en deçà des critères du système harmonisé de classification intégrée des produits chimiques de l'OCDE (72) pour considérer le CP dans sa catégorie 2B (modérément irritant pour les yeux) (62). Ces critères sont les mêmes que ceux du SGH (73). Busch a résumé une étude japonaise dans laquelle une goutte unique de CP était placée chaque jour pendant quatorze jours dans le sac conjonctival d'un des yeux chez trois lapins. L'autre œil était utilisé comme témoin. Deux des trois lapins avaient un écoulement oculaire jaune au septième jour. Aucun autre changement n'a été observé (32). Ce même auteur résume également une autre étude dans laquelle 0,5 ml de CP placé dans l'œil de lapins ne provoquait qu'une irritation modérée de l'œil des animaux (32).

Par ailleurs, la société BASF rapporte les résultats d'essais selon la méthode 405 de l'OCDE (Effet irritant/corrosif aigu sur les yeux) (72). Les résultats moyens étaient les suivants : 1,72 pour la cornée sur une échelle dont le maximum est égal à 4; 0,56 pour l'iris (maximum = 2); 2,67 pour la conjonctive (maximum = 3) (71).

6.5 Études subchroniques

Dans des chambres d'inhalation le corps entiers de rats (5 mâles et 5 femelles par dose) a été exposé à des concentrations cibles d'aérosols de CP de 1000, 2 500 ou 5 000 mg/m³ au rythme de 6h par jour pendant 5 jours, suivi de 2 jours sans exposition puis de 4 jours additionnels d'exposition. Aucune mortalité n'a été observée. Des effets qualifiés d'importance secondaire sont rapportés sur les yeux, les muqueuses et les cavités nasales chez les rats exposés aux deux plus fortes concentrations. On rapporte un LOAEL[21] de 1000 mg/m³ pour la prise de poids corporel chez les deux sexes (62).

Dans des chambres d'inhalation le corps entier de rats a été exposé à des concentrations cibles d'aérosol de CP de 100, 500 ou 1 000 mg/m³ à raison de 6h par jour, 5 jours par semaine pendant 13 semaines. Les animaux ont été notamment examinés à l'ophthalmoscope, pour les effets neurocomportementaux, l'activité motrice, le poids et la prise de poids, la consommation d'eau et de nourriture, l'hématologie, la chimie clinique, l'examen des urines, le poids des organes, la pathologie clinique ainsi que l'histopathologie et la neuropathologie. Aucune mortalité n'a été observée à toutes les doses. Pratiquement tous les paramètres n'ont pas été affectés par l'exposition au CP. Le signe clinique le plus important semble avoir été le gonflement du tissus périoculaire. On rapporte un LOAEL de 1 000 mg/m³ basé sur les signes cliniques pour les deux sexes et un NOAEL[22] de 500 mg/m³ (62).

---

[21] Lowest Observed Adverse Effet Level = la plus faible dose observée produisant un effet délétère

[22] No Observed Adverse Effect Level = dose sans effet délétère observé

Busch résume une étude soumise par la Jefferson Chemical Company où une exposition à 2800 mg/m³ d'aérosol de CP à raison de 6 heures par jour, 5 jours par semaine sur une période de 21 jours n'aurait entraîné que de la rhinorrhée et la diarrhée chez les rats (32).

La Société Huntsman résume une étude où des rats ont été exposés par gavage à des doses de 1 000, 3 000 ou 5 000 mg/kg/jour de CP. Aucun effet toxique significatif n'aurait été observé peu importe la dose (65).

6.6 Cancérogenèse

Des souris mâles ont reçu une application de CP sur la peau 2 fois par semaine sur une période de 103 semaines. Aucune lésion néoplasique n'a été observée à la fin de l'étude. Le USEPA considère cette étude inacceptable quant au potentiel cancérogène du CP chez la souris, notamment en raison d'un dosage inapproprié (62).

6.7 Mutagenèse

Trois études soumises par Huntsman visant à démontrer l'absence de potentiel mutagène du CP ont été évaluées par le USEPA. L'épreuve des micronoyaux, celle des mutations réverses sur *Salmonella typhimurium* et l'étude de la synthèse non programmée d'ADN mesurée dans des cultures primaires d'hépatocytes de rat ont tous été négatives. La méthodologie de ces études étant conforme à ses critères, le USEPA considère que le CP n'est pas une substance mutagène (62).

6.8 Toxicité sur le développement

La société Huntsman a soumis au USEPA une étude concernant la toxicité sur le développement du CP chez le rat par voie orale. Des doses de 1 000, 3 000 ou 5 000 mg/kg/jour de CP ont été administrées durant la période de gestation (6^{e} au 15^{e} jour). Le NOAEL et le LOAEL étaient respectivement de 1 000 et 3 000 mg/kg/j pour la toxicité maternelle (62). On rapporte un NOAEL de 3 000 et un LOAEL de 5 000 mg/kg/j pour le développement basés sur les variations de l'ossification dans la progéniture. Le USEPA considère la dose de 1 000 mg/kg/j comme une dose limite (62) au même titre que l'OCDE dans ses essais 414, 421 et 422 concernant la toxicité sur la reproduction et le développement. Cette dose est la limite supérieure au-dessus de laquelle il n'est pas nécessaire d'effectuer d'autres essais si un effet délétère n'a pas été mis en évidence (78). Il est donc raisonnable d'affirmer que le CP n'est pas toxique pour le développement chez le rat.

7.0 Environnement

7.1 Devenir environnemental

Les spécialistes en écotoxicologie de la bibliothèque nationale de médecine des États-Unis (« United States National Library of Medicine » (USNLM)) ont résumé ainsi, dans leur banque de données HSDB, le devenir environnemental du CP : Le CP sous forme vapeur dans l'air extérieur se dégrade en réagissant avec les radicaux hydroxyles produits par les processus

photochimiques. Le temps de demi-vie ($t_{½}$) de cette réaction est estimé à 4 jours. Le CP déversé sur le sol serait très mobile en raison d'un coefficient de partage carbone organique/eau (K_{oc}) égal à 14. Sa volatilisation à partir de sols humides ne devrait pas être importante en raison de sa constante de la loi d'Henry égale à $3{,}4 \cdot 10^{-8}$ atm·m^3·mol^{-1}. Sa volatilisation à partir de sols secs ne devrait par être importante en raison de sa faible tension de vapeur (0,004 kPa à 20 °C). Le CP ne devrait pas s'adsorber sur les matières en suspension dans l'eau et sur les sédiments en raison de son K_{oc}. La volatilisation du CP à partir de plans d'eau ne devrait pas être importante en raison de sa constante de la loi d'Henry. Le CP pourrait être hydrolysé dans l'environnement à cause de sa nature chimique. Un facteur de bioconcentration égal à 3 suggère que son potentiel de bioconcentration dans les organismes aquatiques est faible (79).

Le USEPA résume une étude allemande dans laquelle du CP en concentrations de 250 et 2 500 mg/L dans l'eau a été dégradé à 80 % dix jours après la phase de latence initiale d'une journée. Les auteurs de cette étude concluent que le CP est facilement biodégradable (15).

7.2 Effets environnementaux

Le tableau 2 présente des doses létales ou efficaces de CP pour trois poissons, deux invertébrés, une algue verte et une bactérie. Parce que ces données excèdent largement les valeurs les plus élevées (p.ex. : catégorie aiguë III : CL_{50} – 96h chez le poisson > 10 et ≤ 100 mg/L) du système harmonisé de classification des produits chimiques de l'OCDE pour l'environnement aquatique (72) et du SGH (73), le CP peut être considéré peu toxique pour les milieux aquatiques.

Tableau 2
Doses létales ou efficaces cinquante du CP pour quelques espèces aquatiques

Espèce	Paramètre*	Concentration (mg/L)	Référence
Carpe	CL_{50} 96h	> 1 000	(71)
Ide dorée	CL_{50} 96h	5 300	(80)
Vairon à tête de mouton	CL_{50} 96h	> 1 000	(81)
Copépodes	CL_{50} 48h	> 1 000	(81)
Daphnie magna	CE_{50} 48h	> 500	(80)
Scenedesmus subspicatus (algue)	CL_{50} 72h	> 900	(71)
Pseudomonas putida (bactérie)	CE_{50}	> 10 000	(71)

* CE_{50} = concentration effective cinquante; CL_{50} = concentration létale cinquante.

Le potentiel de formation d'ozone urbain (PFO) pour le CP est égal à 0,08 par rapport à celui de l'éthylène qui est égal à 1 (82).

8.0 Réglementation et recommandations

8.1 Milieu de travail

Il n'existe aucune norme légale d'exposition professionnelle au CP. Aucun grand fabricant de CP ne possède de norme interne d'exposition professionnelle pour ce solvant.

Berthelsen et coll. de l'Institut danois de sécurité alimentaire et toxicologie ont proposé une valeur limite pour le CP dans l'air pour le compte de l'agence danoise de protection de l'environnement. Cette valeur limite vise à protéger la santé de la population en général. Les auteurs ont proposé une valeur limite de 1 mg/m^3 (63). Cette valeur a été dérivée à partir d'un NOAEL égal à 100 mg/m^3 pour le gonflement du tissu périoculaire dans une étude subchronique (13 semaines) par inhalation chez le rat rapportée dans une publication du USEPA (15). Les danois ont appliqué les trois facteurs de sécurité suivant : 10 pour le passage du rat à l'humain, 10 pour les variations interindividuelles chez l'humain et 1 parce qu'il s'agit d'un effet local (63).

En l'absence de valeur limite d'exposition professionnelle (VLE) pour le CP, les auteurs de la présente monographie ont choisi d'élaborer une VLE temporaire sur la base des données disponibles. L'effet le plus sensible dans les différentes études répertoriées semble être le gonflement du tissu périoculaire. Un NOAEL de 500 mg/m^3 d'aérosol de CP a été établi pour les effets cliniques, incluant le gonflement périoculaire, dans une étude subchronique (6h/j, 5j/sem., 13 sem.) par inhalation chez le rat (62). Un facteur d'incertitude global de 5 à 10 appliqué au NOAEL chez l'animal est recommandé pour établir les VLE pour les irritants sensoriels, en l'absence de données chez l'humain (83). En raison du peu d'études publiées sur la toxicité du carbonate de propylène il semble prudent d'utiliser un facteur de 10. En outre les études disponibles ayant démontré l'absence de toxicité sur le développement (voir § 6.8), un facteur d'incertitude supplémentaire ne serait pas justifié. Ce raisonnement conduirait à proposer une VLE de 50 mg/m^3. Cependant il faut noter que les facteurs utilisés pour les irritants sensoriels concernent des NOAELs établis à partir d'études réalisées par inhalation de vapeur. Le carbonate de propylène étant extrêmement peu volatil (tension de vapeur : 0,003 à 0,004 kPa @ 20 ^{0}C), les expositions en milieu de travail seraient en grande partie sous forme de brouillard. Il est alors logique de proposer une VLE se rapprochant de celle généralement adoptée pour les aérosols nuisibles, c'est-à-dire 10 mg/m^3 d'aérosol inhalable à l'instar de la recommandation récente de l'American Industrial Hygiene Association pour le propylène glycol, liquide peu volatil et peu toxique (84).

La seule référence au CP dans la réglementation canadienne en matière de santé et de sécurité du travail est dans la *Liste de divulgation des ingrédients*[23]. En vertu de ce règlement fédéral qui fait partie du *Règlement sur les produits contrôlés*[24] le fabricant de tout produit chimique contenant plus de 1 % de CP doit inscrire cette substance sur la liste des ingrédients de sa FS et fournir sa concentration ainsi que les DL_{50} et CL_{50} disponibles.

[23] http://lois.justice.gc.ca/fr/h-3/dors-88-64/139089.html
[24] http://lois.justice.gc.ca/fr/h-3/dors-88-66/139864.html

Le score obtenu pour la conjonctive lors d'un essai d'irritation oculaire selon les procédures de l'OCDE (voir § 6.4.2) place le CP dans la catégorie D2B (Matières toxiques ayant d'autres effets) du SIMDUT (85).

Selon la directive 67/548/CEE de la Communauté Européenne, le CP est classé « Irritant – Irritant pour les yeux ». Les étiquettes des contenants doivent afficher le symbole ci-dessous et être accompagnées de la phrase de risque « Irritant pour les yeux » et du conseil de prudence « Conserver hors de la portée des enfants » (71).

Xi - Irritant

8.2 Environnement

8.2.1 Canada

8.2.1.1 Règlement sur la persistance et la bioaccumulation

Le Règlement sur la persistance et la bioaccumulation spécifie qu'une substance est bioaccumulable si son facteur de bioconcentration est égal ou supérieur à 5 000 (86). Le CP n'est donc pas bioaccumulable en vertu de la LCPE en raison de son facteur de bioconcentration très faible (voir § 7.1). Le même règlement considère qu'une substance est « persistante » si sa demi-vie atmosphérique est supérieure à deux jours. Le CP serait donc considéré comme une substance « persistante » en vertu de la LCPE si l'on considère que sa demi-vie atmosphérique est égale à 4 jours (voir § 7.1).

8.2.1.2 Liste intérieure des substances (LIS)

Le CP fait partie de la LIS[25]. La LIS a été créée pour répondre à l'une des exigences de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE). Les substances qui font partie de la LIS comprennent celles qui, entre le 1er janvier 1984 et le 31 décembre 1986, ont été fabriquées ou importées au Canada à raison d'au moins 100 kg par année ou qui servaient à des fins de fabrication commerciale au Canada. Les substances qui n'apparaissent pas sur la LIS sont considérées « nouvelles » au Canada et doivent en conséquence être déclarées en vertu de la LCPE (Règlement sur les renseignements concernant les substances nouvelles[26]).

[25] http://www.ec.gc.ca/substances/nsb/HTML/dsl_f.HTM
[26] http://lois.justice.gc.ca/fr/C-15.31/DORS-94-260/

8.2.1.3 Règlement sur le transport des marchandises dangereuses (TMD)

Les fabricants BASF et Lyondell estiment que le CP n'est pas sujet aux exigences du TMD[27] (80, 81). Le CP n'entre en effet dans aucune des neuf classes de marchandise dangereuse de la Partie 2 du TMD, en raison notamment d'un point d'éclair plus élevé que 93 ^{0}C et de ses doses létales cinquante très élevées (87).

8.2.1.4 Liste des substances d'intérêt prioritaire

La LCPE exige que les ministres fédéraux de l'Environnement et de la Santé établissent une liste de substances dont la toxicité doit être évaluée prioritairement conformément à la Loi. Le CP ne figure ni sur la première ni sur la deuxième liste des substances d'intérêt prioritaire qui comprennent au total 69 substances ou familles de substances[28] (88, 89).

8.2.2 Québec

8.2.2.1 Règlement sur la qualité de l'atmosphère

Le CP n'est pas un « solvant organique photochimiquement réactif » en vertu de la définition restrictive qu'en donne le Règlement sur la qualité de l'atmosphère. En conséquence l'article 12c de ce règlement concernant les émissions de composés organiques s'applique à savoir qu'il est légalement possible d'émettre plus de 1 400 kilogrammes par jour ou 200 kilogrammes par heure de CP dans le cas où ce solvant n'est pas soumis à un procédé de cuisson ou n'entre pas en contact avec une flamme (90).

8.2.2.2 Règlement sur les matières dangereuses

Le Règlement (québécois) sur les matières dangereuses indique qu'une substance est considérée comme « matière toxique » si elle est toxique en vertu du Règlement (canadien) sur les produits contrôlés (85, 91). Or le CP doit être classé D2B (Matière toxique ayant d'autres effets) d'après le SIMDUT (voir § 8.1). En conséquence le CP doit être considéré comme « matière toxique » en vertu de l'article 3 du Règlement sur les matières dangereuses.

8.2.3 Ville de Montréal

La Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) a adopté le 14 novembre 2001 les règlements 87 et 90 de l'ancienne Communauté urbaine de Montréal. Ces règlements s'appliquent désormais sur l'ensemble de l'île de Montréal. Dans la CMM à l'extérieur de Montréal, ce sont les règlements existants des villes (eaux usées) et du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (air) qui s'appliquent encore

[27] http://www.tc.gc.ca/tmd/clair/menu.htm
[28] http://www.ec.gc.ca/RegistreLCPE/subs_list/Priority.cfm

et qui sont contrôlés par ces autorités. Ces règlements deviendront caducs lorsque la CMM adoptera ses propres règlements sur l'assainissement des eaux usées et de l'air[29].

8.2.3.1 Règlement relatif à l'assainissement de l'air (Règlement 90)

Le CP utilisé dans certaines activités industrielles telles que l'application de peinture au pistolet et le dégraissage de pièces métalliques, est assujetti à l'article 6 du Règlement 90[30] (92). Cette disposition du règlement impose une réduction de l'émission de 90 % ou une émission maximale de 5 kg/heure par usine.

8.2.3.2 Règlement relatif aux rejets des eaux usées dans les réseaux d'égout et les cours d'eau (Règlement 87)

La demande biochimique en oxygène cinq jours (DBO_5) du CP est égale à 55 mg/L (71). En conséquence, l'alinéa 5 de l'article 11 du règlement 87 s'applique à cette substance[31] (93). Il est donc interdit de rejeter ce solvant dans un réseau d'égout pluvial de la Ville de Montréal.

9.0 Prévention

9.1 Premiers secours

De façon générale pour les intoxications aux solvants organiques le clinicien est référé à l'ouvrage de Goldfrank et coll. (94). Les consignes présentées dans les sections suivantes concernant les premiers secours sont issues de la banque de données ChemInfo (95).

9.1.1 Projection cutanée

Laver la peau contaminée le plus rapidement possible avec de l'eau tiède en faisant couler l'eau pendant au moins vingt minutes. Retirer les vêtements contaminés et les décontaminer avant de les réutiliser.

9.1.2 Projection oculaire

Irriguer immédiatement l'œil avec de l'eau tiède en laissant couler l'eau à faible pression pendant vingt minutes en tenant les paupières ouvertes. Prendre soin de ne pas diriger l'eau contaminée dans l'autre œil. Si l'irritation persiste, répéter l'irrigation. Obtenir une expertise médicale immédiatement.

9.1.3 Inhalation

Enlever la source de contamination et amener la victime à l'air frais. Obtenir une expertise médicale immédiatement.

---

[29] http://www.cmm.qc.ca (voir « Publications » puis « Documents institutionnels »)
[30] http://www.cmm.qc.ca/publications/documentsinsti/reglements/09_1.pdf
[31] http://www.cmm.qc.ca/publications/documentsinsti/reglements/08_1.pdf

9.1.4 Ingestion

Ne jamais administrer quoi que ce soit par la bouche à une victime perdant conscience, inconsciente ou souffrant de convulsions. Rincer la bouche de la victime avec de l'eau. Ne pas induire le vomissement (95). Cette dernière recommandation est reprise par le fabricant Lyondell (81). Les fabricants BASF et Huntsman recommandent toutefois d'induire le vomissement (80, 96). Le Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST) recommande de faire boire à la victime de 120 à 240 ml d'eau. Si elle vomit, rincer la bouche et répéter la prise d'eau. Obtenir une expertise médicale immédiatement (95).

9.2 Fuites accidentelles

Lors d'une fuite accidentelle de CP, les fabricants Lyondell et BASF suggèrent des procédures générales concernant les solvants organiques telles que l'élimination des sources d'ignition, le colmatage des fuites s'il est sécuritaire de le faire, le ramassage du CP à l'aide d'un absorbant non combustible comme du sable et sa mise en fût et subséquemment au rebut (80, 81). Le CCHST recommande en outre de rincer l'aire nettoyée à l'eau (95).

9.3 Manipulation et stockage

Le CP est normalement stable mais en présence d'acide, de base, d'oxydes métalliques ou de sels, il peut se décomposer avec libération de CO_2 et de propylène glycol, particulièrement si la température excède 50 ^{0}C. Le risque de montée de pression dans les contenants peut être maîtrisé à l'aide de limiteurs de pression. La teneur d'oxyde de propylène dans l'espace vide des contenants, normalement faible (voir § 4.1), peut être accentuée si le CP est chauffé (11). Rappelons que la valeur limite 8h de l'oxyde de propylène dans l'air des lieux de travail est égale à 20 ppm dans le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) (97). L'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) recommande toutefois 2 ppm (98).

Les conduites de transfert de CP devraient avoir un diamètre minimal de cinq centimètres et être constituées d'acier ordinaire ou inoxydable. L'acier inoxydable est préférable pour les conduites flexibles. Les pompes rotatives ou centrifuges en acier ordinaire ou inoxydable peuvent être utilisées avec le CP. Le matériau idéal pour les joints d'étanchéité est le téflon. Les joints en caoutchouc éthylène-propylène (EPR), néoprène, caoutchouc naturel, liège et polyéthylène sont cependant acceptables alors que ceux en nitrile (copolymère de butadiène et d'acrylonitrile), Hypalon®[32] (polyéthylène chlorosulfuré) et Viton®[33] (copolymère de l'hexafluoropropylène et du fluorure de vinylidène) ne sont pas recommandés (11).

9.4 Équipement individuel de protection

La ganterie Best[34] recommande l'utilisation des gants SilverShield 4H[35] pour se protéger du CP. Le fabricant BASF recommande notamment les gants de protection en caoutchouc nitrile

[32] Marque déposée de E.I. du Pont de Nemours
[33] Voir note 29
[34] Don Groce, Technical Product Specialist, Best Manufacturing Company, Menlo, GA, télécopie du 2004-09-24 à Gilles Fullum, ganterie Best, Coaticook, QC

(0,4 mm), en néoprène (0,5 mm) ou en poly(chlorure de vinyle) (0,7 mm) (99). Le fabricant Lyondell suggère des gants en néoprène (81).

Le logiciel de prédiction de la résistance des gants élaboré par Perron et coll. (100) a été utilisé pour évaluer la performance des polymères suivants vis-à-vis le CP : latex, nitrile, néoprène, Viton® et butyle (copolymère de l'isobutylène et de l'isoprène). Ils se sont tous avérés théoriquement résistants au solvant en question[36]. Bien que cette méthode n'exclut pas les autres types de gants, elle indique ceux à mettre sur banc d'essai en entreprise.

Le port de lunettes à coques ou d'un écran facial est nécessaire pour la protection des yeux (99).

Dans les conditions d'utilisation anticipées du CP (§ 4.4), la protection respiratoire ne serait pas requise (81). Le CP est en effet un solvant très peu volatil à la température ambiante. Le chauffage du solvant augmente cependant sa tension de vapeur. La pulvérisation du CP pourrait exiger le port d'un appareil de protection respiratoire à filtres à particules pour prévenir l'exposition au brouillard de solvant.

9.5 Élimination des déchets

Le USEPA résume un brevet étasunien (US Patent n^0 5,275,734) dans lequel les auteurs ont développé une méthode de transformation des carbonates d'alcoylène comme le CP en substances plus facilement gérables du point de vue environnemental. Le procédé en question hydrolyse le CP en propylène glycol, facilement biodégradable (15).

Le fabricant BASF affirme que le CP peut être incinéré (80). Il faudra évidemment connaître la nature exacte des autres substances qui pourraient accompagner le CP usé et agir en conséquence.

9.6 Recyclage

Une usine de fabrication de bateaux en polyester stratifié à la fibre de verre en Floride a implanté un système fonctionnel de recyclage du CP (55) et l'utilise encore à ce jour[37]. Un tel système pourrait être implanté au Québec à partir de systèmes actuels recyclant des solvants dont le point d'ébullition avoisine 200 °C. Cependant des investissements seraient nécessaires et ne pourraient être justifiés que par un volume minimal de CP à recycler[38].

Le National Center for Manufacturing Sciences (NCMS, Ann Arbor, MI) propose un calculateur en ligne[39] pour évaluer si le recyclage d'un solvant est rentable en fonction des quantités utilisées mensuellement, du contenu en solides et en eau et de la nature du solvant en question.

---

[35] Voir : http://www.northsafety.com
[36] J. Lara, IRSST, communication personnelle avec Charles Beaudry, UdeM/DSEST, 2004-09-23
[37] W. McDonald, Wellcraft Marine, Sarasota, FL, communication personnelle, 2004-09-07
[38] M. Lemire, Chemrec, Cowansville, QC, communication personnelle, 2004-09-15
[39] http://solvdb.ncms.org/savingsdata.htm

9.7 Échantillonnage et analyse

Aucune méthode de surveillance environnementale n'a été identifiée à l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST)[40], à l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA)[41], au NIOSH[42], à l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)[43], au Health and Safety Executive (HSE)[44] ou dans la littérature scientifique. La compagnie Rae Systems (Sunnyvale, CA) propose cependant, sur son site web[45], un de ses instruments à lecture directe (détecteur à photo-ionisation), le MiniRAE 2000, pour l'évaluation du CP.

9.8 Surveillance biologique de l'exposition

Aucune méthode de surveillance biologique de l'exposition au CP n'a été identifiée dans la littérature.

9.9 Surveillance médicale

Aucun protocole de surveillance médicale spécifique au CP n'a été identifié dans la littérature. D'après Axelson et Hogstedt, les examens médicaux tels que les analyses sanguines ou de la fonction hépatique pour les effets autres que les atteintes du système nerveux seraient généralement peu utiles dans le cas des solvants organiques (101). White et Proctor ainsi que Spurgeon font une revue des tests psychométriques utiles dans le diagnostic des atteintes chroniques du système nerveux dues aux solvants (102, 103). Le médecin du travail peut également se référer au protocole général de surveillance médicale pour les solvants industriels élaboré par les équipes du réseau public québécois de santé au travail (104).

10.0 Discussion

10.1 Aspects techniques

Dans leur étude du remplacement du MEK par un mélange CP/AB pour le nettoyage de peinture industrielle, Elion et coll. n'ont pas calculé l'économie qui serait réalisée par le recyclage sur place ou par le fournisseur du mélange usé (44). Sachant que le fabricant de bateau en polyester stratifié à la fibre en verre Wellcraft Marine[46] (Sarasota, FL) a remplacé depuis plusieurs années l'acétone par le CP dans le nettoyage des équipements souillés de résine de polyester en recyclant le nouveau solvant sur place (55), il est raisonnable de penser qu'une telle pratique serait rentable dans d'autres industries générant de grandes quantités de solvants souillés de résidus de peinture. Au Québec, on pense notamment à l'industrie aéronautique et aux bases d'entretien des forces armées canadiennes. Par ailleurs, étant donné que le CP semble être un bon décapant à peinture

[40] http://www.irsst.qc.ca/fr/listersstc.html
[41] http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_264450.html
[42] http://www.cdc.gov/niosh/nmam/
[43] http://www.inrs.fr/metropol
[44] http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/index.htm
[45] http://www.raesystems.com/node/view/362
[46] http://www.wellcraft.com

(voir § 4.4.1), il pourrait probablement remplacer le dichlorométhane dans nombre d'applications s'il est utilisé avec des cosolvants comme l'AB.

10.2 Hygiène et toxicologie industrielles

Si le CP est métabolisé chez l'humain en propylène glycol et en CO_2 comme chez le rat (74), il serait peu toxique dans l'organisme au vu de la faible toxicité du glycol en question (75).

Le USEPA considère l'article de Ursin et coll. (69) concernant l'absorption cutanée du CP dans la peau humaine comme inacceptable (62). La critique principale semble être l'absence de détails sur les doses utilisées par les auteurs pour les divers solvants testés. La lecture attentive de l'article nous porte cependant à croire que les solvants purs ont été utilisés dans les essais en question. En outre, parce qu'il s'agit d'expériences visant à déterminer la perméabilité des solvants à l'état d'équilibre, il va de soit que la quantité de solvant utilisée était suffisante pour saturer la peau. En conséquence, nous ne considérons pas valable la critique adressée par le USEPA et nous concluons avec Ursin et coll. que le CP est un solvant possédant une constante de perméabilité relativement faible dans la peau humaine. De plus, cette information corrobore celle provenant d'une étude antérieure indiquant que le CP ne facilitait pas le passage d'autres substances à travers la peau (16).

Les études menées auprès de volontaires nous portent à croire que le CP peut causer une irritation modérée de la peau. Le port de gants de protection est donc justifié.

Berthelsen et coll. ont basé leur valeur limite de 1 mg/m^3 pour le CP dans l'air extérieur sur un NOAEL de 100 mg/m^3 chez le rat. Cette valeur n'a pas été rapportée comme un NOAEL par les auteurs de l'étude originale. Il s'agit plutôt d'une interprétation des Danois de la phrase suivante provenant d'un document du USEPA sur lequel ils se sont basés : « some periocular swelling in the high- and mid-dose groups[47] ». Les rats avaient été exposés pendant treize semaines aux trois concentrations suivantes : 100, 500 et 1 000 mg/m^3. Il était donc logique pour Berthelsen et coll. de supposer que la concentration la plus faible constituait un NOAEL. Les auteurs de l'étude originale ont cependant mentionné que les effets périoculaires avaient été observés aux trois concentrations en question et non seulement aux doses les plus élevées. Ils rapportent un NOAEL égal à 500 mg/m^3 pour les effets cliniques, incluant le gonflement du tissu périoculaire (62). Ce même NOAEL est également rapporté ailleurs par le USEPA (43). En utilisant le bon NOAEL, on obtiendrait une valeur limite dans l'air extérieur de 5 mg/m^3 en utilisant la méthodologie danoise. En l'absence de valeur limite pour le milieu de travail, il serait prudent d'adopter temporairement la VLE que nous avons élaborée au § 8.1, c'est-à-dire 10 mg/m^3 d'aérosol de CP. Cette recommandation devrait néanmoins faire l'objet d'une validation en milieu de travail pour s'assurer qu'elle est adéquate pour prévenir l'irritation sensorielle.

L'étude de Hem et coll. concernant l'irritation du tissu musculaire du poulet rapporté au § 6.4.1 est peu appropriée pour le milieu de travail parce qu'il s'agissait d'injections intramusculaires. Elle a été présentée dans ce rapport en raison du peu d'étude concernant le CP en général. Elle démontre toutefois le potentiel nécrosique du CP administré par injection (76).

---

[47] notre traduction : « un certain gonflement périoculaire dans les groupes de doses élevée et moyenne »

La majorité des études toxicologiques rapportées au § 6 proviennent de sources non publiées dans la littérature scientifique. On peut cependant leur donner crédit parce qu'elles ont été systématiquement étudiées et critiquées par le USEPA dans le cadre de la demande d'un fabricant pour faire déclarer le CP comme substance n'ayant pas besoin d'un niveau limite pour ses résidus dans l'environnement lorsqu'elle est utilisée comme matière inerte dans la formulation des pesticides (43).

L'émission de petites quantités d'oxyde de propylène dans l'air des locaux de travail ne devrait pas représenter un problème sanitaire important lors de l'utilisation du CP (voir § 4.1 et 9.3). S'il y a utilisation de ventilation locale par extraction, le RSST exige cependant qu'il n'y ait pas de recirculation de l'air éventuellement vicié d'oxyde de propylène (97).

Suite à une projection cutanée de CP, le CCHST recommande de faire couler de l'eau sur la peau affectée pendant vingt minutes (95). Rappelons que le CP pur a provoqué une irritation modérée de la peau de volontaires à la suite d'une exposition répétée pendant trois jours sur leur peau scarifiée (32). Cette situation expérimentale étant exceptionnelle, nous considérons qu'une irrigation pendant cinq minutes est suffisante pour la majorité des éclaboussures en milieu de travail. Cette recommandation serait conforme aux consignes de Callaghan et Cooper pour un liquide hydrosoluble légèrement irritant et faiblement toxique (105).

Les auteurs de ce rapport sont d'accord avec le CCHST et le fabricant Lyondell qu'en cas d'ingestion accidentelle de CP, il ne faille pas induire le vomissement car le risque de dommage aux poumons par aspiration du solvant excède celui d'empoisonnement, les quantités mise en cause étant généralement faibles en milieu de travail (105).

Des points d'éclair variant de 108 ^{0}C à 135 ^{0}C ont été rapportés pour le CP (voir annexe I). Il s'agit d'une variation qui peut sembler importante à première vue. Cependant, même avec la valeur la plus basse, le CP se situe en dehors des catégories de liquides combustibles du SIMDUT (85) et du SGH (73). La norme NFPA 30 le situe de toute façon dans sa catégorie des liquides combustibles de classe IIIB, c'est-à-dire dont le point d'éclair dépasse 93 ^{0}C avec la méthode ASTM D 56 (106).

Des différences importantes sont rapportées pour les limites inférieure (1,7 à 4,7 %) et supérieure (14,3 à 32,5 %) d'inflammabilité pour le CP (voir annexe I). Elles pourraient être dues à des différences dans les conditions lors des tests (p. ex. mesurage à 200 ^{0}C versus température ambiante). Le RSST exige que la concentration d'une vapeur dans un lieu de travail soit inférieure à 25 % de sa limite inférieure d'inflammabilité. Si l'on considère la valeur la plus faible rapportée (1,7 % ou 17 000 ppm), la concentration de vapeur de CP ne devrait jamais dépasser 4 250 ppm. À la température ambiante, il est impossible de retrouver un tel niveau par évaporation étant donné que la concentration de vapeur saturante du CP est égale à 40 ppm (voir annexe I).

10.3 Environnement

Le CP est facilement biodégradable, ne s'accumule pas dans l'environnement et possède un faible PFO. Il est peu toxique pour diverses espèces aquatiques (voir § 7). Le Règlement sur la persistance et la bioaccumulation, pris en vertu de la LCPE, considère toutefois le CP comme

persistant dans l'air extérieur ($t_{½}$ = 4 j) (86). Ce critère est cependant sévère comparativement à celui de l'Union européenne où une substance est considérée non persistante si sa demi-vie est inférieure à 30 jours dans un compartiment environnemental donné (107).

11.0 Axes potentiels de recherche

Des études toxicologiques expérimentales devaient être entreprises pour documenter l'absorption, la distribution, le métabolisme et l'élimination du CP dans un modèle animal. L'exposition professionnelle au CP devrait faire l'objet de mesurage en vérifiant également la présence potentielle d'oxyde de propylène. Des méthodes d'échantillonnage et d'analyse devront être mises au point pour le mesurage des aérosols et vapeurs de CP. Des essais en laboratoire devraient être réalisés pour préciser la nature des vêtements de protection personnelle à recommander.

Une étude sur le remplacement de l'acétone par le CP dans l'industrie québécoise des objets fabriqués en polyester renforcé de fibre de verre devrait être réalisée.

12.0 Conclusion

Considérant la faible toxicité du CP chez l'animal et l'environnement, ce solvant constitue un produit de remplacement acceptable pour des solvants comme les cétones inflammables (p. ex. acétone, MEK). Le port de gants et de lunettes de sécurité est toutefois indiqué. Pour assurer son succès, tout projet de substitution de solvant doit être bien planifié. Bégin et Gérin ont d'ailleurs proposé une démarche en neuf étapes pour garantir la réussite de l'entreprise (108, 109).

13.0 Bibliographie

[1] Bégin, D. (1995) Utilisation des solvants et exposition professionnelle au Québec. **Travail et santé 11**(2):13-15
[2] Gérin, M., Ed. (2002) **Solvants industriels : Santé, sécurité, substitution**. Masson, Paris
[3] Bégin, D.; Gérin, M. (1999) **La substitution des solvants par le d-limonène**. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (Rapport B-057), Montréal
[4] Bégin, D.; Gérin, M. (1999) **La substitution des solvants par les esters d'acides dicarboxyliques (DBE) : Adipate diméthylique, glutarate diméthylique, succinate diméthylique**. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (Rapport B-056), Montréal
[5] Bégin, D.; Gérin, M. (1999) **La substitution des solvants par la N-méthyl-2-pyrrolidone**. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (Rapport B-058), Montréal
[6] Lavoué, J.; Bégin, D.; Gérin, M. (2002) **La substitution des solvants par les nettoyants aqueux - Le dégraissage des métaux**. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (Rapport B-064), Montréal, QC
[7] Bégin, D.; Gérin, M. (2002) **Le 1-bromopropane et la substitution des solvants**. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (Rapport B-063), Montréal, QC
[8] Bégin, D.; Lavoué, J.; Gérin, M. (2002) **La substitution des solvants par le diméthylsulfoxyde**. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (Rapport B-062), Montréal, QC

[9] Bégin, D.; Heng, S.; Gérin, M. (B-069) **La substitution des solvants par le lactate d'éthyle**. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal
[10] Bégin, D.; Moumen, M.; Gérin, M. (B-068) **La substitution des solvants par l'alcool benzylique**. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal
[11] Huntsman (2001) **Jeffsol® Alkylene Carbonates**. Huntsman Corporation, Houston, TX
[12] Lyondell (1997) **Arconate® 1000**. Lyondell Chemical Company, Houston, TX
[13] BASF (2004) **Carbonates Product Information**. BASF Corporation, Chemicals Division, Mount Olive, NJ
[14] Kreutzberger, C.B. (2001) *Chloroformates and Carbonates*. In: **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (Electronic)**, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, (base de données en ligne, École Polytechnique de Montréal, date d'accession : 2004/04/22)
[15] USEPA (1998) **Environmental Profile for Propylene Carbonate**. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory (EPA/600/R-98/068), Cincinnati, OH
[16] Andersen, F.A. (2004) **Re-review of Propylene Carbonate**. Cosmetic Ingredient Review (Unpublished report), Washington, DC
[17] Doolittle, A.K. (1954) *Solvents, Industrial*. In: **Encyclopedia of Chemical Technology, Volume 12**, pp. 654-686. R.E. Kirk;; D.F. Othmer, Eds. The Interscience Encyclopedia, New York, NY
[18] USEPA (1994) **Draft Cleaner Technologies Substitutes Assessment (CTSA): Screen Reclamation - Chapter 2**. United States Environmental Protection Agency; Pollution Prevention and Toxics; Design for the Environment Program (EPA 744-R-94-005a), Washington, DC
[19] Camsoft (2004) **ChemFinder WebServer**. CambridgeSoft Corporation (http://chemfinder.camsoft.com) base de données en ligne consultée 2004-07-13, Cambridge, MA
[20] Gillette Environment Health and Safety (2003) **Duracell Procell Lithium 9-Volt Battery**. The Gillette Company, Needham, MA
[21] Manthiram, A. (2002) *Battery Applications*. In: **Encyclopedia of Smart Materials**, John Wiley & Sons, New-York, NY
[22] Blomgren, G.; Hunter, J. (2000) *Batteries, Primary Cells*. In: **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (Electronic)**, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, (base de données en ligne, École Polytechnique de Montréal, date d'accession : 2004/04/22)
[23] Salkind, A.J.; Klein, M.; Bullock, K.R.; Pierson, J.R.; Gifford, P.R. (2003) *Batteries, Secondary Cells*. In: **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (Electronic)**, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, (base de données en ligne, École Polytechnique de Montréal, date d'accession : 2004/04/22)
[24] Harvey, J.A. (2000) *Smart Materials*. In: **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (Electronic)**, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, (base de données en ligne, École Polytechnique de Montréal, date d'accession : 2004/04/22)
[25] Samat, A. (2004) *Chromogenic Materials, Electrochromic*. In: **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (Electronic)**, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, (base de données en ligne, École Polytechnique de Montréal, date d'accession : 2004/04/22)
[26] Raue, R. (2000) *Methine Dyes and Pigments*. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (Electronic)**, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany (base de données en ligne, École Polytechnique de Montréal, date d'accession : 2004/05/06
[27] Borschel, E.-M.; Heimann, S.; Kromm, E. (2000) *Textiles Auxiliairies*. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (Electronic)**, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim,

Germany (base de données en ligne, École Polytechnique de Montréal, date d'accession : 2004/05/06)
[28] Henze, G. (2001) *Analytical Voltammetry and Polarography*. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (Electronic)**, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany (base de données en ligne, École Polytechnique de Montréal, date d'accession : 2004/05/06)
[29] Ko, M.N.; Kwon, I.H.; Jo, W.H.; Son, T.W. (1994) Sol-Gel Transition of Polyacrylonitrile / Propylene Carbonate Solution. **Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics 32**:945-951
[30] Boucher, E.A.; Langdon, D.J.; Manning, R.J. (1972) Effect of Heat Treatment on the Morphology and Structure of Crystals, Powders, and Fibers of Polyacrylonitrile and Saran. **Journal of Polymer Science: Part A-2 10**:1285-1296
[31] BASF (2004) **Label Eco-Efficiency Analysis Propylene carbonate**. BASF Aktiengesellschaft, Product Safety, Regulations, Toxicology and Ecology, Ludwigshafen, Allemagne
[32] Busch, J. (1987) Final Report on the Safety Assessment of Propylene Carbonate. **Journal of the American College of Toxicology 6**(1):23-51
[33] Broekaert, M. (2003) *Polyurea Spray-Applied Systems for Concrete Protection*. In: **Fourth European Congress on Construction Chemicals**, Nurnberg, Allemagne,
[34] ICI Devoe Coatings (2003) **Material Safety Data Sheet: Devthane 379UVA Clear Aliphatic Urethane Finish**. ICI Paints North America, Cleveland, OH
[35] Park, B.-D.; Riedl, B.; Hsu, E.W.; Shields, J. (2001) Application of cure-accelerated phenol-formaldehyde (PF) adhesives for three-layer medium density fiberboard (MDF) manufacture. **Wood Science and technology**:311-323
[36] Steiner, P.R.; Troughton, G.E.; Andersen, A.W. (1993) Aqueous phenolic dispersions for bonding higher moisture content veneers. **Forest Products Journal 43**(10):29-34
[37] Amen-Chen, C.; Riedl, B.; Wang, X.M.; Roy, C. (2002) Softwood Bark Pyrolysis Oil-PF Resols Part 3: Use of Propylene Carbonate as resin Cure Accelerator. **Holzforschung 56**(3):281-288
[38] Stephanou, A.; Pizzi, A. (1993) Rapid-Curing Lignin-Based Exterior Wood Adhesives Part II: Esters Acceleration Mechanism and Application to Panel Products. **Holzforschung 47**:501-506
[39] Dresel, W.; Heckler, R.-P. (2003) *Lubricants and Lubrication*. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (Electronic)**, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany (base de données en ligne, École Polytechnique de Montréal, date d'accession : 2004/05/06)
[40] Appl, M. (2000) *Ammonia*. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (Electronic)**, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany (base de données en ligne, École Polytechnique de Montréal, date d'accession : 2004/05/06)
[41] Tournier-Lasserve, J. (2000) *Hydrogen Sulfide*. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (Electronic)**, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany (base de données en ligne, École Polytechnique de Montréal, date d'accession : 2004/05/06)
[42] Boll, W.; Supp, E.; Hochgesand, G.; Higman, C.; Kalteier, P.; Müller, W.-D.; Kriebel, M.; Schlichting, H.; Tanz, H. (2000) *Gas Production*. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (Electronic)**, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany (base de données en ligne, École Polytechnique de Montréal, date d'accession : 2004/05/06)
[43] USEPA (2003) Propylene Carbonate; Exemption from the Requirement of a Tolerance. **Federal Register 68**(172):52695-52700

[44] Elion, J.M.; Flanagan, J.B.; Turner, J.H.; Hanley, J.T.; Hill, E.A. (1996) **Pollution Prevention Demonstration and Evaluation of Paint Application Equipment and Alternatives to Methylene Chloride and Methyl Ethyl Ketone**. Performed by Research Triangle Institute (Research Triangle Park, NC) for United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development (EPA-600/R-96-117; NTIS : PB97-104632), Washington, DC
[45] Rosenthal, S.; Hooper, A.M. (1994) **Evaluation of Propylene Carbonate in Air Logistics Center (ALC) Depainting Operations**. United State Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Risk Reduction Engineering Laboratory (EPA/600/R-94/176), Cincinnati, OH
[46] USEPA (1996) **Pollution Prevention in the Paints and Coatings Industry**. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory, Center for Environmental Research Information (EPA/625/R-96/003), Cincinnati, OH
[47] Thomas, R.; Franklin, W.E. (1996) **Life Cycle Assessment for PC Blend 2 Aircraft Radome Depainter - Project Summary**. United States Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory (EPA/600/SR-96/094), Cincinnati, OH
[48] Southern Research Institute; Pacific Environmental Services Inc.; Howell, S.G. (1995) **Project Summary: Radome Depainting Evaluation at Tinker Air Force Base**. United States Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory (EPA/600/SR-95/079), Cincinnati, OH
[49] Stoye, D. (2000) *Solvents*. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (Electronic)**, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany (base de données en ligne, École Polytechnique de Montréal, date d'accession : 2004/05/06)
[50] White, D.L. (2000) *Paint and Finish Removers*. In: **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (Electronic)**, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, (base de données en ligne, École Polytechnique de Montréal, date d'accession : 2004/04/22)
[51] Knutson, B. (2002) **The Use of a Supercritical Carbon Dioxide-Based Solvent as a Cost Effective and Environmentally Sound Alternative to Current Photoresist Stripping Solvents**. Research paper for a Master of Science Degree with a Major in Risk Control. University of Wisconsin-Stout, Menomonie, WI
[52] Anonyme (2003) Propylene carbonate-based cleaning compositions patented. **Focus on Surfactants 2003**(11):5
[53] USEPA (1994) **Guide to Cleaner Technologies - Alternatives to Chlorinated Solvents for Cleaning and Degreasing**. United States Environmental Protection Agency; Office of Research and Development (EPA/625/R-93/016), Cincinnati, OH
[54] FDEP (1996) **A Guide on Hazardous Waste Management for Florida's Fiber-Reinforced Plastic Manufacturers**. Florida Department of Environmental Protection, Hazardous Waste Regulation Section, Tallahassee, FL
[55] FDEP (1998) **Pollution Prevention Fact Sheet: Industrial Cleaning # 8, New Cleaning Solvents**. Florida Department of Environmental Protection, Tallahassee, FL
[56] Hillis, D.R.; Davis, A.D. (1998) **Waste Reduction Strategies for Fiberglass Fabricators**. East Carolina University Department of Industrial Technology, School of Industry and Technology, Greenville, NC
[57] Thomas, R.; Franklin, W.E. (1996) **Life Cycle Assessment for PC Blend 2 Aircraft Radome Depainter**. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and

Development, National Risk Management Research Laboratory (Contract No. 68-C4-0020) (EPA/600/R-96/094), Cincinnati, OH
[58] Huntsman (1st July 2004) **Material Safety Data Sheet: Jeffstrip FST**. Huntsman Petrochemical Corporation, The Woodlands, TX
[59] USPTO (21 March 2000) **Paint coatings remover comprising propylene carbonate and hydrogen peroxide - Patent No. 6,040,284**. United State Patent and Trade Office, Washington, DC
[60] Elion, J.M.; Flanagan, J.B.; Turner, J.H.; Hanley, J.T.; Hill, E.A. (1996) **Project Summary: Pollution Prevention Demonstration and Evaluation of Paint Application Equipment and Alternatives to Methylene Chloride and Methyl Ethyl Ketone**. United States Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory (EPA/600/SR-96/117), Research Triangle Park, NC
[61] Seta, J.A.; Sundin, D.S.; Pedersen, D.H. (1988) **National Occupational Exposure Survey Field Guidelines**. National Institute for Occupational Safety and Health (DHHS (NIOSH) Publication No. 88-106), Cincinnati
[62] USEPA (2003) **Data Evaluation Records - Propylene Carbonate**. Prepared by Dynamac Corp. (Rockville, MD) for the United States Environmental Protection Agency, Office of Pesticide Programs, Health Effects Division (EPA Public Docket ID number OPP-2003-0284), Arlington, VA
[63] Berthelsen, P.; Beltoft, V.; Thorup, I.; Søborg, I.; Nielsen, E. (2000) **Toxicological Evaluation and Limit Values for 2-Ethylhexyl acryate, Propylene carbonate, Quaternary ammonium compounds, triglycidyl isocyanurate and tripropyleneglycol diacrylate**. The Institute of Food Safety and Toxicology, Danish Veterinary and Food Administration and Danish Environmental Protection Agency (Environmental Project N^0 555), København
[64] USEPA (1998) Notice of Filing of Pesticide Petitions. **Federal Register 63**(250):71920-71922
[65] Huntsman (2001) **Propylene Carbonate: Toxicity Testing Summary**. Huntsman Corporation, Unpublished Report, Houston, TX
[66] Huntsman (1995) **Propylene Carbonate: Toxicity Testing Summary**. Huntsman Corporation, Unpublished Report, Houston
[67] ToxWorks (Bridgeton NJ) (2002) **Robust Summaries for Propylene Carbonate**. Submitted by the Propylene Carbonate / t-Butyl Alcohol HPV Committee to the United States Environmental Protection Agency High Production Volume Challenge Program (AR201-13688B), Washington, DC
[68] Papciak, R.J.; Mallory, V.T. (1990) Acute Toxicological Evaluation of Propylene Carbonate. **Journal of the American College of Toxicology Part B: Acute Toxicity Data 1**:15-16
[69] Ursin, C.; Hansen, C.M.; Van Dyk, J.W.; Jensen, P.O.; Christensen, I.J.; Ebbehoej, J. (1995) Permeability of Commercial Solvents Through Living Human Skin. **American Industrial Hygiene Association Journal 56**(7):651-660
[70] Smyth, H.F.; Carpenter, C.P.; Weil, C.S.; Pozzani, U.C. (1954) Range-Finding Toxicity Data: List V. **Archives of Industrial Hygiene and Occupational Medicine 10**(2):61-68
[71] European Commission (2000) **IUCLID CD-ROM - Public data on high volume chemicals**. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, European Chemicals Bureau, Ispra, Italy
[72] OECD (2001) **Harmonized Integrated Classification System for Human Health and Environmental Hazards of Chemical Substances and Mixtures**. Organisation for Economic Co-operation and Development (ENV/JM/MONO(2001)6), Paris

[73] ONU (2003) **Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH)**. Organisation des Nations unies (ST/SG/AC.10/30), New York et Genève
[74] Yang, Y.L.; Ramaswamy, S.G.; Jakoby, W.B. (1998) Enzymatic Hydrolysis of Organic Cyclic Carbonates. **The Journal of Biological Chemistry 273**(14):7814-7817
[75] Nordt, S.P.; Vivero, L.E. (2002) *Pharmaceutical Additives*. In: **Goldfrank's Toxicologic Emergencies**, Seventh Edition, pp. 835-846. L.R. Goldfrank; N.E. Flomenbaum; N.A. Lewin; M.A. Howland; R.S. Hoffman; L.S. Nelson, Eds. McGraw-Hill Medical Publishing Division, New York, NY
[76] Hem, S.L.; Bright, D.R.; Banker, G.S.; J.F., P. (1974) Tissue irritation evaluation of potential parenteral vehicles. **Drug Development Communications 1**(5):471-477
[77] DiPasquale, L.C.; Hayes, A.W. (2001) *Acute Toxicity and Eye Erritancy*. In: **Principles and Methods of Toxicology**, Fourth Edition, pp. 853-916. A.W. Hayes, Ed. Taylor & Fancis, Philadelphia, PA
[78] OCDE (1993) **Lignes directrices de l'OCDE pour les essais de produits chimiques**. Organisation de coopération et de développement économiques, Paris
[79] U.S. NLM (2004) **Propylene carbonate**. United States National Library of Medicine, Hazardous Substances Data Bank, Bethesda, MD
[80] BASF (19 September 2003) **Material Safety Data Sheet: Propylene Carbonate S**. BASF Corporation, Mount Olive, NJ
[81] Lyondell (22 August 2003) **Material Safety Data Sheet No. BE175, Version No. 1.3: Arconate® Propylene Carbonate**. Lyondell Chemical Company, Houston, TX
[82] NCMS (1997) **SOLV-DB**. National Center for Manufacturing Sciences (http://solvdb.ncms.org/index.html), Ann Arbor, MI
[83] Paustenbach, D.J. (2003) *The History and Biological Basis of Occupational Exposure Limits*. In: **Modern Industrial Hygiene, Volume 2, Biological Aspects**, pp. 631-726. J.L. Perkins, Ed. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH
[84] AIHA (2004) **Workplace Environmental Exposure Level Guide: Propylene Glycol**. American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA
[85] Gouvernement du Canada (1988) Règlement sur les produits contrôlés (DORS/88-66). **Gazette du Canada Partie II 122**(2):551-589
[86] Gouvernement du Canada (2000-03-29) Règlement sur la persistance et la bioaccumulation. **Gazette du Canada Partie II 134**(7):607-608
[87] Gouvernement du Canada (2004) **Règlement sur le transport des marchandises dangereuses - DORS/SOR/2001-286**. Transport Canada, Ottawa
[88] Gouvernement du Canada - Ministère de l'Environnement (1989-02-11) Liste des substances d'intérêt prioritaire. **Gazette du Canada, Partie I**:543-545
[89] Gouvernement du Canada - Ministère de l'Environnement - Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social (1995-12-16) La deuxième liste des substances d'intérêt prioritaire. **Gazette du Canada, Partie I**:4238-4240
[90] Gouvernement du Québec (1979-11-14) Règlement relatif à la qualité de l'atmosphère. **Gazette officielle du Québec Partie 2, 111**(29):6939-6970
[91] Gouvernement du Québec (1997) Règlement sur les matières dangereuses et modifiant diverses dispositions réglementaires. **Gazette officielle du Québec 129**(45):6681-6714
[92] CUM (1987) **Règlement relatif à l'assainissement de l'air et remplaçant les règlements 44 et 44-1 de la Communauté (Règlement 90)**. Communauté urbaine de Montréal, Montréal
[93] CUM (1988) **Règlement relatif aux rejets des eaux usées dans les réseaux d'égout et des cours d'eau (Règlement 87)**. Communauté urbaine de Montréal, Montréal

[94] Goldfrank, L.R.; Flomenbaum, N.E.; Lewin, N.A.; Howland, M.A.; Hoffman, R.S.; Nelson, L.S. (2002) **Goldfrank's Toxicologic Emergencies**. McGraw-Hill, Medical Publishing Division, New York, NY
[95] CCOHS (1989) **CHEMINFO: Propylene Carbonate**. Canadian Centre for Occupational Health and Safety (http://ccinfoweb.ccohs.ca/ date de consultation : 2004-11-02), Hamilton, ON
[96] Sellstrom, K. (7 August 2002) **Material Safety Data Sheet: Jeffsol® Propylene Carbonate**. Huntsman Corporation Canada, Guelph, ON
[97] Gouvernement du Québec (18 juillet 2001) Règlement sur la santé et la sécurité du travail. **Gazette officielle du Québec, Partie 2, Lois et règlements 133**(29):5020-5133
[98] ACGIH (2004) **TLVs® and BEIs® Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices**. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH
[99] BASF (30 July 2002) **Safety data sheet: Propylencarbonat**. BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen
[100] Perron, G.; Desnoyers, J.E.; Lara, J. (2002) **Résistance des vêtements de protection aux mélanges de solvants industriels - Développement d'un outil de sélection**. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (Rapport R-305), Montréal
[101] Axelson, O.; Hogstedt, C. (1994) *The Health Effects of Solvents*. In: **Occupational Medicine**, pp. 764-778. C. Zenz; O.B. Dickerson; E.P. Horvath, Eds. Mosby-Year Book, St-Louis
[102] Spurgeon, A. (2001) **The validity and interpretation of neurobehavioural data obtained in studies to investigate the neurotoxic effects of occupational exposure to mixtures of organic solvents - The feasibility of a benchmarking approach to interpretation**. Contract Research Report 355/2001 from the United Kingdom Health and Safety Executive to The Institute of Occupational Health, The University of Birmingham, Birmingham, UK. Published by HSE Books, Sudbury, Suffolk, UK
[103] White, R.F.; Proctor, S.P. (1997) Solvents and neurotoxicity. **The Lancet 349**(9060):1239-1243
[104] CSST/CPST (1985) **Guide intérimaire de surveillance médico-environnementale des travailleurs exposés à des solvants industriels**. Commission de la santé et de la sécurité du travail et Comité provincial en santé au travail de l'Association des directeurs de département de santé communautaire, Montréal, QC
[105] Callaghan, J.M.; Cooper, D.M. (1991) **Fiche technique sur la sécurité des substances - Guide pratique pour l'élaboration des consignes de premiers soins**. Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (P91-4F), Hamilton, ON
[106] NFPA (1998) **NFPA 30 - Code des liquides inflammables et combustibles - Édition 1996**. National Fire Protection Association (Quincy, MA). Traduction effectuée sous la direction de la Commission de la santé et de la sécurité du travail. Les Publications du Québec, Sainte-Foy, QC
[107] Pichard, A.; Bisson, M.; Diderich, R.; Hulot, C.; Lacroix, G.; Lefèvre, J.P.; Lévêque, S.; Magaud, H.; Pepin, G.; Thybaud, E. (2004) **Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques - Méthodologie de renseignement de la fiche - version 4**. Institut national de l'environnement industriel et des risques, Verneuil-en-Halatte, France
[108] Bégin, D.; Gérin, M. (2001) **Substitution des solvants - Études de cas d'implantation**. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (R-269), Montréal, QC

[109] Gérin, M.; Bégin, D. (2002) *Substitution : démarche et outils*. In: **Solvants industriels - Santé, sécurité, substitution**, pp. 39-60. M. Gérin, Ed. Masson, Paris
[110] ACS (2004) **SciFinder Scholar**. American Chemical Society, base de données en ligne consultée le 04-0713, Washington, DC
[111] Riddick, J.A.; Bunger, W.B.; Sakano, T.K. (1986) **Organic Solvents - Physical Properties and Methods of Purification**. A. Weissberger, Ed. John Wiley & Sons, New York, NY
[112] Lide, D.R., Ed. (1996) **Properties of Organic Solvents Version 2.0**. CRC Press, Inc. (disque optique compact), Boca Raton, FL
[113] Dean, J.A. (1999) **Lange's Handbook of Chemistry**. McGraw-Hill, New York, NY
[114] NIST (2000) **NIST Chemistry WebBook**. United States Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology (http://webbook.nist.gov/chemistry/), Gaithersburg, MD
[115] Stoye, D. (1993) *Solvents*. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry - Volume A24**, pp. 437-505. B. Elvers; S. Hawkins; W. Russey; G. Schulz, Eds. VCH, New York, NY
[116] Lewis, R.J. (2000) **Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials**. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY
[117] West, R.C., Ed. (1988) **CRC Handbook of Chemistry and Physics. 69TH Edition**. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL
[118] Hansen, C.M. (2000) **Hansen Solubility Parameters - A User's Handbook**. CRC Press, Boca Raton, FL
[119] Flick, E.W., Ed. (1991) **Industrial Solvents Handbook**. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ
[120] Fisher Scientific (2004) **Material Safety Data Sheet: Propylene carbonate, 99.5%**. Fisher Scientific Limited (MSDS Key 01357), Nepean, ON
[121] Flick, E.W. (1998) **Industrial Solvents Handbook**. Noyes Data Corporation, Westwood, NJ
[122] CCHST (1989) **CHEMINFO: Propylene Carbonate**. Canadian Center for Occupational Health and Safety CHEMINFO Record Number 441 - Last revision 2003-03-06, Hamilton, ON
[123] NFPA (2002) **Fire Protection Guide to Hazardous Materials**. National Fire Protection Association, Quincy, Ma
[124] Huntsman (1999) **Technical Bulletin - Jeffsol^{R} Propylene Carbonate**. Huntsman Corporation, Houston, TX
[125] SRC (2004) **KowWin (LogKow) Log P Calculation**. Syracuse Research Corporation, North Syracuse, NY
[126] USEPA (2003) **Estimation Program Interface EPI Suite^{TM} Version 3.11**. United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention & Toxics, Washington, DC

Annexe I

Propriétés physico-chimiques et de santé et sécurité du travail du carbonate de propylène

Propriété	Valeur	Référence
Nom chimique IUPAC	4-méthyl-1,3-dioxolan-2-one	(19, 110, 111, 112)
Synonymes (Liste non exhaustive)	Carbonate de propylène Carbonate de propane-1,2-diol Carbonate cyclique de propylène glycol Ester cyclique du propane-1,2-diol et de l'acide carbonique CP	(19, 110, 111, 112, 113, 114, 115) (19, 110, 112, 114, 116, 117) (110, 112, 114, 116, 117) (110, 114, 116) (19, 114, 118)
Numéro CAS	108-32-7	(110)
Numéro RTECS	FF9650000	(19)
Numéro EINECS	203-572-1	(110)
Formule brute	$C_4H_6O_3$	(19, 110, 112, 117)
Masse moléculaire	102,09	(113, 117, 119)
État physique	Liquide	(116, 120)
Apparence	Claire, fluide et hygroscopique à la température ambiante	(121)
Odeur	Légère odeur Sans odeur	(119) (111)
Limite de détection olfactive	Non déterminée	
Densité	1,2006 à 1,2069 $g \cdot cm^{-3}$ (20 °C)	(111, 112, 116)
Point de fusion	-55 à -48,8 °C	(19, 111, 112, 113, 117, 119)
Point d'ébullition	240 à 243 °C	(19, 99, 111, 112, 113, 119)
Tension de vapeur	0,0027 à 0,0040 kPa @ 20 °C (0,02– 0,03 mmHg) 0,131 kPa @ 50 °C 0,160 kPa @ 55 °C 0,324 kPa @ 75 °C 0,710 kPa @ 100 °C 11,98 kPa @ 165 °C	(11, 12) (80) (112) (111) (112) (112) (111)
Densité de vapeur	3,52 (air =1)	(122)

Propriété	Valeur	Référence
Concentration de vapeur saturante	40 ppm à 20 °C	(122)
Point d'éclair	135 °C (coupelle ouverte) 135 °C (appareil Pensky-Martens en vase clos)	(123) (11, 121)
	132 °C (méthode Tagliabue en vase ouvert)	(111)
	123 °C (DIN[48] 51758)	(99)
	108 °C (appareil à vase clos Setaflash)	(12)
Limite inférieure d'explosibilité	4,7 % (200 °C) v/v 1,7 % v 1,8 % v	(124) (81) (80)
Limite supérieure d'explosibilité	21 % (200 °C) v/v 32,5 % v 14,3 % v	(124) (81) (80)
Température d'auto-ignition	455 °C 430 °C	(80, 81) (124)
Coefficient de partage octanol/eau (LogP)	0,08 (estimé) -0,41 (expérimental)	(125) (125)
Taux d'évaporation	< 0,005 à 25 °C (acétate de n-butyle = 1) > 1500 (DIN 531701, éther = 1)	(11, 81) (13)
Solubilité dans l'eau	17,5 % à 25 °C 175 g/L 21,4 % en poids à 20 °C 240 g/L à 20 °C	(111) (125) (115) (80)
Solubilité dans les autres liquides	Eau, éthanol, acétone, benzène Très soluble dans l'eau, éthanol, benzène, éther diéthylique	(117) (113)
Paramètres de solubilité de Hansen	13,3 $cal^{1/2}cm^{-3/2}$ (total)	(119)
	9,8 $cal^{1/2}cm^{-3/2}$ (dispersion - non polaire)	(119)
	8,8 $cal^{1/2}cm^{-3/2}$ (polaire)	(119)
	2,0 $cal^{1/2}cm^{-3/2}$ (lien hydrogène)	(119)
	20,0 $MPa^{1/2}$ (dispersion δ_d)	(118)
	18,0 $MPa^{1/2}$ (polaire δ_p)	(118)
	4,1 $MPa^{1/2}$ (lien hydrogène δ_h)	(118)
Stabilité	Stable dans des conditions normales d'entreposage.	(111)

[48] Deutsches Institut für Nurmung. La norme allemande DIN 51758 est équivalente à la méthode Pensky-Martens en vase clos ASTM D93 ou ISO 2719.

Propriété	Valeur	Référence
	Stable à la température et pression normale	(120, 122)
Incompatibilité	Agents oxydants forts	(122)
Cotes de risque NFPA	Santé : 1 Inflammabilité : 1 Instabilité : 1	(123)
Constante diélectrique	66,14 à 20 °C 64,92 – 65,0 à 25 °C 62,5 à 36 °C 61,7 à 40 °C	(113) (111, 119) (119) (119)
Constante de la loi d'Henry	2,169 E –008 atm-m³/mole[49] 3,4 E –008 atm-m³/mole 3,63 E –004 atm-m³/mole (méthode des liaisons chimiques[50])	(126) (79) (82, 126)
Chaleur latente de vaporisation	17 700 cal/mol à 50 °C 15 200 cal/mol à 100 °C 13,2 à 13,3 kcal/mol à 150 °C 55,2 kJ/mol à 150 °C 12 000 cal/mol à 200 °C 11,9 kcal mol^{-1} à 241,7 °C 49,8 kJ/mol à 514,9 K	(119) (119) (111, 119) (111) (119) (111) (111)
Chaleur spécifique	218,6 $J \cdot deg^{-1} \cdot mol^{-1}$	(113)
Conductibilité thermique	49,6 $\cdot 10^{-5}$ cal/(sec)(cm^2)(°C/cm)	(119)
Tension superficielle	0,04193 $N \cdot m^{-1}$ à 20 °C 0,0414 $N \cdot m^{-1}$ à 25 °C	(111) (111, 112)
Viscosité	2,76 x 10^{-3} $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ à 20 °C 2,530 x 10^{-3} Pa·s à 25 °C	(111) (111, 112)
Facteur de conversion	1 ppm = 4,17 mg/m³ à 25 °C 1 mg/m³ = 0,240 ppm à 25 °C	(122)

[49] Le coefficient de partage air-eau est estimé simplement par le quotient des valeurs de tension de vapeur et de solubilité dans l'eau.

[50] Le coefficient de partage air-eau est obtenu par une méthode prenant en compte la structure chimique de la molécule en question.

Annexe II

Fabricants de carbonate de propylène*

Fabricants industriels

BASF
345 Carlingview Drive
Toronto, ON, M9W 6N9
Canada

Téléphone : (800) 363-2273
Télécopie : (800) 363-2273

http://www.basf.com

Aucune appellation commerciale

Huntsman Performance Chemicals
3040 Post Oak Blvd.
Houston, TX 77056
États-Unis

Téléphone : (713) 235-6000
(800) 231-3104

http://www.huntsman.com/performance_chemicals

Appellation commerciale : Jeffsol® PC

Lyondell Chemical Company
P.O. Box 3646.
Houston, TX 77253-3646
États-Unis

Téléphone : (713) 652-7200
(888) 777-0232
Télécopie : (713) 309-4944

http://www.lyondell.com

Appellation commerciale : Arconate® PC

* Liste non exhaustive